



Bachelorarbeit

Verkehrssimulation von Abschnitten eines innerstädtischen Straßennetzes mit Lichtsignalanlagensteuerung und Bevorrechtigung des ÖPNV

Lasse Bienzeisler

im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen
Verkehrsmanagement

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Wolf-Rüdiger Runge

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Olaf Czogalla

Bearbeitungszeitraum: 1. Dezember 2012 bis 1. März 2013

Braunschweig, März 2013

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt den Aufbau einer Verkehrssimulation mit dem Software-Programm VISSIM. Der Straßenzug Halberstädter Straße in Magdeburg soll an einem Werktag von 16.00 bis 17.00 Uhr möglichst genau nachgebildet und simuliert werden. Mit der notwendigen Verkehrsdatenerhebung beginnend, wird das zugrunde liegende Modell Schritt für Schritt erweitert und ausgebaut. Um die Übertragbarkeit der Simulationsergebnisse auf die Realität sicherzustellen, wird das Modell anhand von Verkehrszuflüssen und ausgewählten Parametern kalibriert und anschließend über die gemessenen Reisezeiten validiert.

Drei voneinander verschiedene Szenarien werden auf (verkehrstechnische) Parameter untersucht und ausgewertet. Aus diesen Ergebnissen werden Handlungsempfehlungen, Optimierungspotenziale und weitere mögliche Forschungsfragen abgeleitet.

Schlagwörter: VISSIM, Verkehrssimulation, Magdeburg

Abstract

The thesis hereby submitted delineates the construction of a traffic simulation in VISSIM. The residential street Halberstädter Straße in Magdeburg was precisely recreated and the traffic simulated. Starting with an essential gathering of traffic data, the underlying, basic model was gradually extended and refined. Due to the model's calibration with selected parameters, such as traffic flow, and the validation of these by chronometry, the transferability of the simulation results to reality is guaranteed. Three unrelated scenarios are analyzed by traffic parameters and interpreted; the results conclude in concrete recommendations, advice on optimization benefits and new potential research questions.

Keywords: VISSIM, traffic simulation, Magdeburg

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
Abstract	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangslage	4
1.2 Zielsetzung	5
1.3 Struktur der Arbeit	6
2 Grundlagen	7
2.1 Verkehrssimulationen	7
2.1.1 Makroskopische Verkehrssimulation	9
2.1.2 Mikroskopische Verkehrssimulation	10
2.1.3 Submikroskopische Modelle	10
2.1.4 Mesoskopische Verkehrssimulation	11
2.2 Lichtsignalanlagensteuerung	11
2.2.1 Festzeitsteuerung	11
2.2.2 Verkehrsabhängige Steuerung	11
2.3 Simulationssoftware VISSIM.....	15
2.3.1 Fahrzeugfolgmodell	16
2.3.2 Spurwechselmodell	20
2.3.3 Lichtsignalanlagensteuerung in VISSIM.....	21
2.4 Mathematische Grundlagen.....	23
2.5 Kohlenstoffdioxid- (CO ₂ -)Emission	24
3 Modellierung.....	25
3.1 Netzaufbau	25
3.2 Zufluss- und Abbiegeraten	29
3.3 Zeitbedarfswertermittlung.....	35
3.4 Lichtsignalanlagen	37
3.4.1 Festzeitsteuerung	38
3.4.2 Verkehrsabhängige Steuerung	39

3.4.3	Koordinierung.....	49
3.5	Messquerschnitte und zu erhebene Qualitätskenngrößen	54
4	Kalibrierung und Validierung des Modells	57
4.1	Kalibrierung	58
4.2	Validierung.....	65
5	Simulationsergebnisse	67
5.1	Reisezeiten.....	67
5.1.1	Festzeitsteuerung	68
5.1.2	Verkehrsabhängige Steuerung	72
5.1.3	Koordinierung.....	75
5.2	Anzahl der Halte	76
5.2.1	Festzeitsteuerung	76
5.2.2	Verkehrsabhängige Steuerung	76
5.2.3	Koordinierung.....	77
5.3	Knotenpunktauswertung.....	78
5.4	Schadstoffemission.....	79
6	Auswertung.....	80
6.1	Bewertung der Simulationsergebnisse.....	80
6.2	Ermittlung von Potenzialen für eine optimierte Verkehrssteuerung	85
6.3	Fehlerbetrachtung	86
7	Zusammenfassung und Ausblick	89
	Glossar.....	91
	Literaturverzeichnis	97
	Erklärung	101
	Anhang A.....	102
	Anhang B	118
	Anhang C	132
	Anhang D.....	137
	Anhang E	151
	Anhang F.....	157

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Prognose der Verkehrsleistung in Deutschland [She10].....	2
Abbildung 2. Verhältnis des Nettoanlagevermögens zur Verkehrsleistung des Güterverkehrs in Deutschland [Ihk13].....	3
Abbildung 3. Ereignisbasierte (oben) und zeitschrittorientierte (unten) Simulationen [Erl07]	8
Abbildung 4. Übergang von der mikroskopischen zur makroskopischen Modellierung [Ros01]	9
Abbildung 5. Logikbasierter und Adaptiver Ansatz nach [Fsv10]	13
Abbildung 6. Grünerlaubnisbereich - Festzeitsteuerung [Bos07].....	15
Abbildung 7. Grünerlaubnisbereich Signalprogramm-anpassung [Bos07]	15
Abbildung 8. Grünerlaubnisbereich Signalprogramm-bildung [Bos07]	15
Abbildung 9. Fahrzeugfolgemodell nach Wiedemann [Ptv11]	19
Abbildung 10. Zustandsdiagramm des Spurwechselvorgangs nach Sparmann [Erl07].....	20
Abbildung 11. Kommunikation zwischen Verkehrsflussmodell und Lichtsignalsteuerung nach [Ptv11].....	21
Abbildung 12. Struktur der Umsetzung einer verkehrsabhängigen Signalsteuerung mit VAP [Fel10]	23
Abbildung 13. Grafische Darstellung der Halberstädter Straße	26
Abbildung 14. Haltestellenmodellierung in VISSIM.....	27
Abbildung 15. Haltestellen in VISSIM	28
Abbildung 16. Knotenpunkt Braunschweiger Straße in VISSIM	29
Abbildung 17. Strombelastungsplan Braunschweiger Straße aus Umlegung	30
Abbildung 18. Strombelastungsdiagramm Braunschweiger Straße aus Verkehrszählung	31
Abbildung 19. Strombelastungsdiagramm Braunschweiger Straße kombiniert	32
Abbildung 20. Verkehrszusammensetzung Halberstädter Straße	33
Abbildung 21. Prozentuale Verkehrszusammensetzung Halberstädter Straße	34
Abbildung 22. Fahrzeugpositionen bei der Zeitbedarfswertmessung	36
Abbildung 23. Zeitbedarfswert in Abhängigkeit zur Fahrzeugposition	37
Abbildung 24. Festzeitsteuerung Südring.....	38
Abbildung 25. Zusatzsignalgeber Südring.....	39
Abbildung 26. Lage- und Ausrüstungsplan LSA Ambrosiusplatz	40
Abbildung 27. Detektoren LSA Ambrosiusplatz.....	42
Abbildung 28. Lage- und Ausrüstungsplan LSA Südring	44
Abbildung 29. Signalplan optimierte Festzeitsteuerung LSA Südring	45
Abbildung 30. Lage- und Ausrüstungsplan LSA Bergstraße.....	46
Abbildung 31. Zwischenzeitmatrix LSA Bergstraße	48
Abbildung 32. Signalplan optimierte Festzeitsteuerung LSA Bergstraße	49

Abbildung 33. Signalplan Koordinierung LSA Brenneckestraße	52
Abbildung 34. Zeit-Weg-Diagramm der Koordinierung.....	54
Abbildung 35. Reisezeiten und Messquerschnitte in VISSIM	56
Abbildung 36. Ablaufdiagramm der Kalibrierung und Validierung eines Simulationsmodells.....	58
Abbildung 37. Kalibrierung Zeitbedarfswert in VISSIM	59
Abbildung 38. Default Wunschbeschleunigung in VISSIM	60
Abbildung 39. Kalibrierte Wunschbeschleunigung in VISSIM	60
Abbildung 40. Nicht kalibriertes Strombelastungsdiagramm Knotenpunkt Kirchhofstraße.....	63
Abbildung 41. Kalibriertes Strombelastungsdiagramm Knotenpunkt Kirchhofstraße...	64
Abbildung 42. Reisezeitenmessung	65
Abbildung 43. Reisezeiten Pkw - Festzeitsteuerung.....	68
Abbildung 44. Reisezeiten Straßenbahnlinie 1 - Festzeitsteuerung.....	69
Abbildung 45. Reisezeiten Straßenbahnlinie 10 - Festzeitsteuerung.....	70
Abbildung 46. Zeit-Weg-Diagramm der ersten Straßenbahnlinie 10 - Festzeitsteuerung	71
Abbildung 47. Zeit-Weg-Diagramm der dritten Straßenbahnlinie 10 - Festzeitsteuerung	71
Abbildung 48. Reisezeiten Pkw – verkehrsabhängige Steuerung	72
Abbildung 49. Reisezeiten Straßenbahnlinie 1 - verkehrsabhängige Steuerung	73
Abbildung 50. Reisezeiten Straßenbahnlinie 10 - verkehrsabhängige Steuerung	74
Abbildung 51. Durchschnittliche Reisezeiten Straßenbahnlinie 10 - verkehrsabhängige Steuerung.....	74
Abbildung 52. Reisezeiten Pkw – Koordinierung.....	75
Abbildung 53. Zusammenfassung Reisezeitauswertung	80
Abbildung 54. Mittlere Verlustzeiten	82
Abbildung 55. Mittlere Standzeit.....	84
Abbildung 56. Mittlere Anzahl an Halten im Vergleich zur CO ₂ -Emission pro Fahrzeug.....	85
Abbildung 57. Probleme in der Zuflussmodellierung	87
Abbildung 58. Modellierungsprobleme VISSIM.....	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Übersicht über LSA-Steuerungsverfahren [Kob07].....	14
Tabelle 2. ÖPNV auf der Halberstädter Straße von 16.00 bis 17.00 Uhr	26
Tabelle 3. Abbiegegeschwindigkeiten in VISSIM	29
Tabelle 4. Phaseneinteilung LSA Ambrosiusplatz	43
Tabelle 5. Versatzzeiten bei der Koordinierung	53
Tabelle 6. Grenzwerte für die Qualitätsstufen der verschiedenen Verkehrsteilnehmergruppen und Verkehrsarten [Fsv05]	55
Tabelle 7. Nicht kalibrierte GEH-Berechnung	62
Tabelle 8. Kalibrierte GEH-Berechnung	64
Tabelle 9. Gemessene durchschnittliche Reisezeiten	65
Tabelle 10. Gemessene durchschnittliche Reisezeiten in der kalibrierten Simulation ..	66
Tabelle 11. Reisezeitenvergleich.....	66
Tabelle 12. Durchschnittliche Reisezeiten Straßenbahnlinie 1 - Festzeitsteuerung	69
Tabelle 13. Durchschnittliche Reisezeiten Straßenbahnlinie 10 - Festzeitsteuerung	70
Tabelle 14. Durchschnittliche Reisezeiten Straßenbahnlinie 1 - verkehrsabhängige Steuerung.....	73
Tabelle 15. Auswertung mittlere Anzahl Halte - Festzeitsteuerung.....	76
Tabelle 16. Auswertung mittlere Anzahl Halte – verkehrsabhängige Steuerung	76
Tabelle 17. Auswertung mittlere Anzahl Halte – Koordinierung.....	77
Tabelle 18. Knotenpunktauswertung	78
Tabelle 19. Durchschnittliche Schadstoffemission	79

Abkürzungsverzeichnis

FCD	Abk. von Floating Car Data
FFE	Abk. von Fahrzeugeinheit: Verhalten von Fahrer und Fahrzeug wird als Einheit aufgefasst
HBS	Abk. Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen
HCM	Abk. Highway Capacity Manual
ifak	Abk. Institut für Automation und Kommunikation Magdeburg
PKW	Abk. Personenkraftwagen
LKW	Abk. Lastkraftwagen
LOS	Abk. Level of Service
MIV	Abk. Motorisierter Individualverkehr
MVB	Abk. Magdeburger Verkehrsbetriebe
ÖPNV	Abk. Öffentlicher Personennahverkehr
RILSA	Abk. Richtlinien für Lichtsignalanlagen
StVO	Abk. Straßenverkehrsordnung
VAP	Abk. VerkehrsAbhängige Programmierung (Zusatzmodul VISSIM)
VISSIM	Abk. Verkehr In Städten - SimulationsModell
VTU	Abk. Verkehrstechnische Unterlagen

1 Einleitung

"Mobilität von Menschen und Gütern ist nicht Folge, sondern Grundlage unseres Wohlstands",

so der ehemalige Vorsitzende der BMW AG, Eberhard von Kuenheim. Fortschritt und Wohlstand unserer Gesellschaft sind eng mit deren Mobilität verknüpft. *„Realisierte Mobilität ist realisierte Beweglichkeit, ist die Befriedigung von Bedürfnissen durch Raumveränderung (kurz: Mobilität). Verkehr ist das Instrument, das man dann für die konkrete Umsetzung der Mobilität benötigt. Verkehr umfasst Fahrzeuge, Infrastrukturen und die Verkehrsregeln und ist auch sehr gut messbar.“* [Bec99] Eine globalisierte Welt, wie wir sie heute erleben, wäre ohne Verkehr nicht möglich. Verkehr ist ein Schlüsselement des wirtschaftlichen Wachstums. Durch strukturelle Änderungen auf der ganzen Welt, z. B. durch den Abbau von Handelsbeschränkungen auf den internationalen Märkten oder neue Transportmittel, werden immer mehr Güter immer weiter transportiert. Konsumenten stellen einen hohen Anspruch nach Verfügbarkeit von Waren. Produkte, die im Internet bestellt werden, sollen möglichst zeitnah zu Hause ankommen. In Zukunft wird die Mobilität von Personen und Gütern für die meisten wirtschaftlichen Aktivitäten unverzichtbar sein. [Ihk13]. *„In Deutschland ist angemessenes und stetiges Wirtschaftswachstum ein wirtschaftspolitisches Ziel.“* [Bpb09] Dieses stetige Wirtschaftswachstum in Deutschland führt zu einer immer weiter ansteigenden Verkehrsleistung, wie eine Studie des Ölkonzern Shells in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt prognostiziert. Es ist zu beachten, dass die Gütertransportleistung schon lange nicht mehr nur an das Bruttoinlandsprodukt gekoppelt ist: *„Eigenständige Trends wie die veränderte Waren- und Produktionsstruktur überlagern die konjunkturellen Effekte. So ist die Transportleistung des Güterverkehrs in Deutschland zwischen 1994 und 2005 um 39% gestiegen und damit deutlich stärker als das preisbereinigte Bruttoinlandsprodukt (BIP) mit 16%.“* [Brn13] Insbesondere die Fahrleistung des Schwerlastverkehrs wird sich bis ins Jahr 2030 fast verdoppeln. [vgl. Abbildung 1]

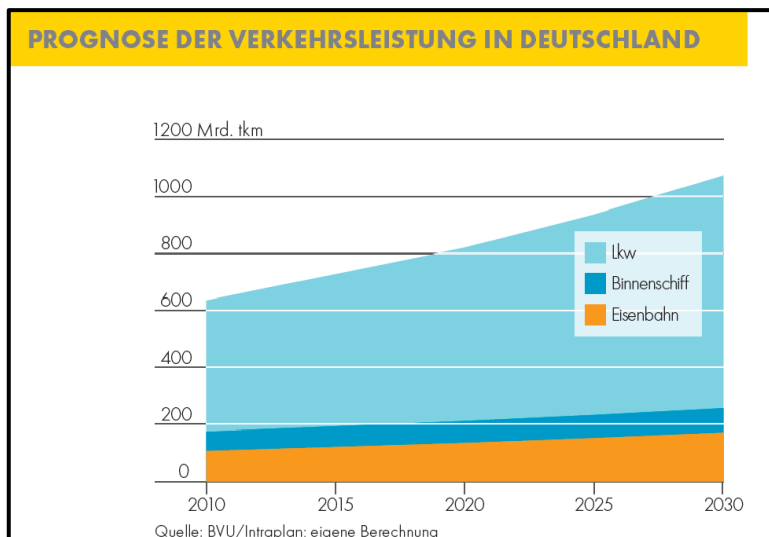


Abbildung 1. Prognose der Verkehrsleistung in Deutschland [She10]

Zusätzlich kommt es zu einer zunehmenden örtlichen Differenzierung der sozialen Funktionen *Wohnen, Arbeit, Einkaufen, Freizeit und Bildung*, die zu einer permanenten Steigerung des motorisierten Individualverkehrs in Deutschland führt.

Durch eine Verkehrsinfrastruktur mit großem Fahrzeugangebot, bei der die Personen- bzw. Güterbeförderung verhältnismäßig wenig kostet, wird die Verkehrsnutzung noch attraktiver. Die damit verbundene Steigerung der (gesamten) Verkehrsleistung auf den deutschen Straßen führt zwangsweise zu einer deutlichen Mehrbelastung der Infrastruktur. In den letzten Jahren ist der Ausbau des Verkehrswegenetzes nicht mit dem bedarfsgerechten Erfordernissen einher gegangen. Bund und Länder wie Kommunen haben seit der Wirtschaftskrise 2008 ihren Investitionshaushalt stark zurückgefahren und zahlreiche notwendige Infrastrukturprojekte gestrichen. So kommt es zur Unterfinanzierung des Infrastrukturerhalts bzw. -ausbaus in Deutschland. [vgl. Abbildung 2]

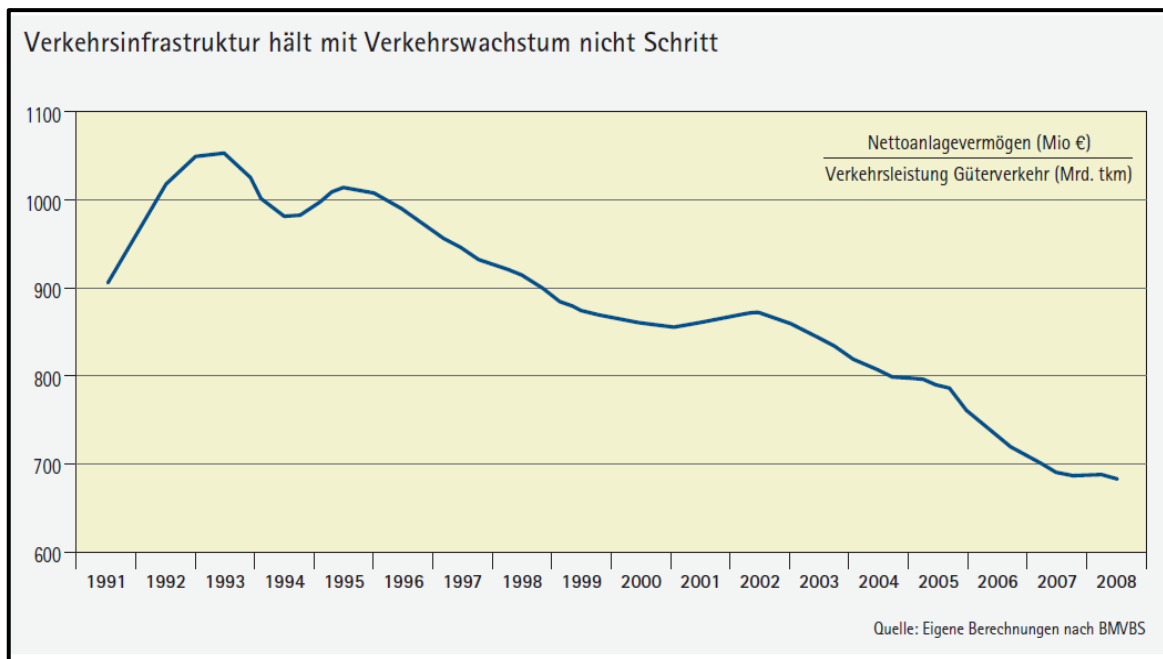


Abbildung 2. Verhältnis des Nettoanlagevermögens zur Verkehrsleistung des Güterverkehrs in Deutschland [Ihk13]

Ein weiteres Problem der steigenden Verkehrsleistung ist die zunehmende Umweltbelastung, insbesondere durch den Straßenverkehr. Prof. Dr. Eckard Helmers vom Umweltcampus der Fachhochschule Trier führt dazu aus:

„Die beiden wichtigsten und schädlichsten Abgase sind Stickoxide, abgekürzt NO und NO₂, sowie Ruß. Stickoxide wirken toxisch auf die Atemwege des Menschen und sind Ozonvorläufersubstanzen. Auch eine Zunahme von Herz- und Kreislauferkrankungen wird beobachtet. Stickoxide schädigen außerdem Pflanzen direkt. Aktuell kommt ein neues Problem hinzu, das bisher untergeordnet war: Ruß aus Benzinmotoren. Sie haben richtig gehört – wie Diesel stoßen jetzt auch Benziner Feinstpartikel aus, wenn sie mit der sogenannten Direkteinspritzung arbeiten. Diese Motoren produzieren besonders gesundheitsgefährdenden Ruß, weil die Partikel teilweise extrem klein sind.“ [Hel13]

Obwohl in der letzten Zeit einige technische Innovationen zur Verringerung der Schadstoffbelastung entwickelt wurden, z. B. verbrauchsärmere und effizientere Verbrennungsmotoren, ist es bisher nicht gelungen, den Schadstoffausstoß des Verkehrs deutlich zu reduzieren. Verbesserte Motoren, effizientere Antriebsarten und die damit einhergehenden Minderungen der Emissionen haben zu keiner grundlegenden Verbesserung geführt, weil die Gesamtzahl der zugelassenen

Automobile/Lastkraftwagen noch immer steigt. Zur Reduzierung der Schadstoffemissionen muss der Grundsatz einer nachhaltigen Entwicklung in den Mittelpunkt gerückt werden. *„Dauerhafte Entwicklung ist Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eignen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“* [Hau87] Um eine nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten, sind technische Innovationen und eine bessere und effizientere Ausnutzung der vorhandenen Ressourcen unabdingbar notwendig. In Hinblick auf eine nachhaltige Stadtentwicklung ist es wichtig, durch ein verbessertes Verkehrsmanagement Verkehrsströme besser und intelligenter zu lenken, um Infrastruktur und Umwelt zu entlasten. Besondere Optimierungspotenziale ergeben sich bei innerstädtischen Lichtsignalanlagen. Durch sinnvoll angepasste Lichtsignalanlagensteuerungen ist es möglich, die Qualität des Verkehrsablaufes mit relativ einfachen Mitteln deutlich zu steigern.

1.1 Ausgangslage

Das Institut für Automation und Kommunikation Magdeburg (ifak) soll im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes *„Magdeburg Energieeffiziente Stadt und Modellstadt Erneuerbare Energien, Maßnahme A1 (Aufbau einer umweltorientierten Verkehrsmanagementzentrale zur Verkehrssteuerung und -lenkung)“* für den Magdeburger Straßenzug *„Halberstädter Straße“* ein mikroskopisches Verkehrsmodell aufbauen. Die Stadt *„Magdeburg strebt an, unter dem Titel MD-E4 eine energieeffiziente Stadt im Rahmen einer Modellstadt für erneuerbare Energien zu werden [...]“* [Smd12] Bis 2020 soll der CO₂-Ausstoß im Vergleich zum Jahr 1990 um mehr als 2/3 (bzw. rund 1/4 gegenüber dem Jahr 2007) reduziert werden. Zusätzlich soll der End-Energieverbrauch durch Energieeffizienzmaßnahmen um mindestens 20 % gegenüber 2007 gesenkt werden. [Smd12]

Zur Modellierung wird die Simulationssoftware VISSIM der PTV AG verwendet. Das Modell umfasst alle Verkehrsarten, die in dem zu untersuchenden Bereich anzutreffen sind:

- Motorisierter Individualverkehr (MIV)
- Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)
- Rad- und Fußverkehr

Um das Modell möglichst realitätsnah aufzubauen, werden Signalpläne und Lichtsignalsteuerungen des Tiefbauamtes Magdeburg verwendet. Weitere Verkehrs- und Steuerungsdaten werden teilweise vom ifak bereitgestellt oder im Rahmen von Feldmessungen erhoben.

1.2 Zielsetzung

In der Verkehrsplanung bzw. dem Verkehrsmanagement stehen oft viele unterschiedliche Planungsszenarien zur Auswahl. Besonderes *„an die Lichtsignalsteuerung richten sich hohe Qualitätsanforderungen, da ihr für einen sicheren und flüssigen Verkehrsablauf im Straßennetz eine wichtige Rolle zukommt.“* [Bsw05] Um eine optimale und sichere Planung zu gewährleisten, müssen Vor- und Nachteile der verschiedenen Planungsszenarien abgewogen werden.

Ein wichtiges Werkzeug bei der Planung und Koordinierung von Lichtsignalanlagen ist das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS). Anhand verschiedener Qualitätsstufen können unterschiedliche Verkehrssituationen bewertet und abgewogen werden. Oftmals zeigt sich, dass diese Einschätzung allein nicht ausreicht, um alle relevanten Parameter zu berücksichtigen. Insbesondere bei der Bemessung von Verkehrsknotenpunkten mit geringem räumlichem Abstand kommt es zu komplexen Systemverhalten, die mit den herkömmlichen analytischen Verfahren nicht mehr abgebildet werden können. Für eine kosteneffiziente Planung von Neu- und Ausbaustrecken ist es notwendig, die signifikanten Parameter, die für reibungslosen Verkehrsablauf, wie für den Zusammenbruch des Verkehrsstroms verantwortlich sind, genau zu kennen. Ein probates Mittel, um mit geringem Aufwand diese Parameter zu ermitteln, sind Verkehrssimulationen. [Erl07]

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, den vollständigen Ablauf einer Verkehrssimulation am komplexen Straßenzug Halberstädter Straße in Magdeburg zu beschreiben und durchzuführen vom Beginn der Planung über den Modellaufbau bis zur Auswertung

der Simulation. Die Simulation soll werktags den stadtauswärts fahrenden Feierabendverkehr von 16.00 bis 17.00 Uhr abbilden. Es werden drei verschiedene Planungsszenarien entworfen und bewertet:

- 1.) Simulation mit einer **Festzeitsteuerung** an allen Lichtsignalanlagen des Knotenpunktes (Rückfallebene der verkehrsabhängigen Steuerung aus den verkehrstechnischen Unterlagen des Tiefbauamtes Magdeburg)
- 2.) **Verkehrsabhängige Steuerung** an allen Knotenpunkten (Ist-Zustand)
- 3.) **Koordinierung „Grüne Welle“** stadtauswärts

Hauptbewertungskriterium für die verschiedenen Planungsszenarien ist die Anzahl an durchschnittlichen Halten im Netz. Die Kohlenstoffdioxid- (CO_2)-Emission der simulierten Fahrzeuge ist davon unmittelbar abhängig. Durch viele dicht aufeinanderfolgende signalisierte Knotenpunkte bremsen bzw. beschleunigen Fahrzeuge im innerstädtischen Raum deutlich häufiger als z. B. auf Autobahnen oder Landstraßen. Dies führt zu einem erhöhten Kraftstoffverbrauch bzw. einer erhöhten CO_2 -Emission. Die Anzahl unnötiger Halte muss verringert werden, um so den Schadstoffausstoß insgesamt zu reduzieren.

Anhand dieses Hauptbewertungskriteriums soll eine Planungsempfehlung abgegeben werden, die in Bezug auf das Projekt „Magdeburg Energieeffiziente Stadt und Modellstadt Erneuerbare Energien“ helfen kann, den CO_2 -Ausstoß und den Verkehrsfluss auf den untersuchten Straßen in Magdeburg deutlich zu verringern.

1.3 Struktur der Arbeit

Die Bachelorarbeit ist in sieben Kapitel gegliedert. Nach Einleitung und Zielsetzung der Arbeit wird zunächst im 2. Kapitel werden die verwendeten Methoden, Software sowie die notwendigen Grundlagen von Verkehrssimulationen erläutert. Dieses Kapitel bildet den theoretischen Rahmen der Arbeit.

Nach einem räumlichen Umgriff des Modells folgen im Kapitel 3 die wichtigsten Modellierungsparameter. Es wird gezeigt, wie wichtige Verkehrskenngrößen wie der Zeitbedarfswert t_B oder Strombelastungswerte für alle Knotenpunkte aus theoretischen Verkehrsdaten und realen Messungen erhoben und ins Modell integriert

werden können. Besonderes Augenmerk wird auf die verwendeten Lichtsignalanlagen-Steuerungen gelegt. Die bei den drei Planungsszenarien integrierten Lichtsignalschaltungen werden dargestellt und es wird beschrieben, wie diese Schaltungen entstanden sind und auf welchen Annahmen, Berechnungen, Daten und theoretischen Überlegungen sie basieren. Angelegte Messquerschnitte für die CO₂-Emission oder verkehrstechnische Kenngrößen sowie zu messende Qualitätskenngrößen im Modell werden erläutert.

In Kapitel 4 wird die Kalibrierung und Validierung des Modells behandelt. Nur ein validiertes Modell liefert Aussagen, die auf die Realität übertragbar sind. In Kapitel 5 werden die Simulationsergebnisse aufgeführt. Diese werden in Kapitel 6 beurteilt und nach verschiedenen Qualitätskenngrößen bewertet. Anhand dieser Ergebnisse folgt die Ermittlung von Potenzialen für eine optimierte Verkehrssteuerung.

Im abschließenden Kapitel 7 werden die Ergebnisse zusammengefasst. Aus den Simulationsergebnissen sowie dem Optimierungspotenzial wird eine Handlungsempfehlung abgeleitet.

2 Grundlagen

2.1 Verkehrssimulationen

Unter dem Begriff *Simulation* versteht man den Prozess der Bildung einer Prognose eines Systems mit dynamischen, komplexen Prozessen, um mit experimenteller Hilfe innerhalb einer Modellebene das Systemverhalten abzuleiten.

„Ein Modell stellt eine vereinfachte Abbildung eines Teiles der realen Welt dar und bezieht sich von einem bestimmten Standpunkt aus auf ein spezifisches Problem.“

[Kni05] Wird im Rahmen einer Simulation das Verhalten von Verkehrsteilnehmern auf einem Streckennetz abgebildet, spricht man von einer *Verkehrssimulation*. [Koh96] Prinzipiell können alle Verkehrssysteme simuliert werden, diese Arbeit beschäftigt sich ausschließlich mit dem System *Straßenverkehr*.

Eine ideale Beschreibung des Systems *Verkehr* ist nicht möglich. Es gibt zu viele unterschiedliche Variablen, die dieses komplexe System beschreiben. Einzelne Fahrzeuge im System stehen zu jeder Zeit miteinander in einer Wechselwirkung. Jede kleine Veränderung hat eine Reaktion anderer Verkehrsteilnehmer zur Folge. Diese Zustandsveränderungen erfolgen entweder ereignis- oder zeitschrittorientiert. Bei der *ereignisorientierten* Zustandsveränderung wird jeder neue Zustand bei jeder Veränderung des Objektes neu berechnet. Einzelne Ereignisse bestimmen den Ablauf der Simulation. Als *zeitschrittorientiert* werden Simulationen bezeichnet, bei denen die Aktualisierung der Zustandsveränderungen sequenziell in bestimmten Zeitschritten erfolgt. [vgl. Abb. 3] Zustandsänderungen, die zwischen zwei Zeitschritten stattfinden, werden auf den nächsten Simulationsschritt bezogen. [Kue06]

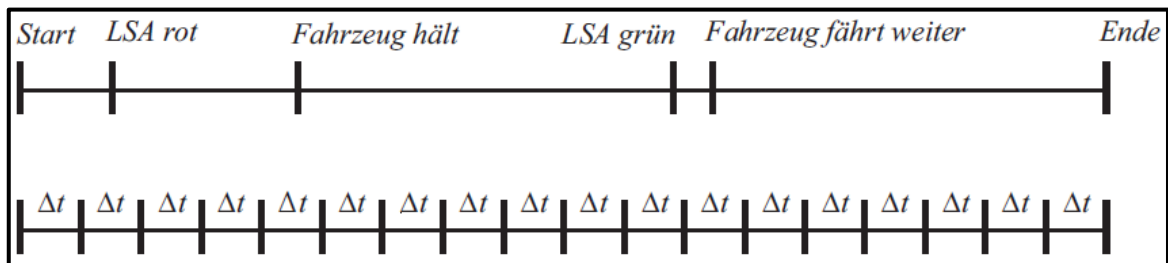


Abbildung 3. Ereignisbasierte (oben) und zeitschrittorientierte (unten) Simulationen [Erl07]

„Simulationsmodelle sollen grundsätzlich die Eigenschaften besitzen, die relevanten Teile der Wirklichkeit zu enthalten.“ [Kob07] Bei Verkehrssimulationen beinhaltet dies z. B. Kurvenradien, Geschwindigkeiten, Spurwechsel, Fahrzeugabstände etc., die rechnerisch erfasst und simuliert werden müssen.

Ein weiterer essentieller Bestandteil einer Verkehrssimulation ist der Faktor *Mensch*. Das Verhalten des Menschen, gerade im Straßenverkehr, ist schwierig kalkulierbar. Zu groß sind die Unterschiede von Mensch zu Mensch. Um dieses Verhalten trotzdem in eine Simulation zu integrieren, müssen menschliche Verhaltensweisen analysiert, strukturiert und systematisiert werden, um sie dann in eine für Computer berechenbare Form umzusetzen.

Grundsätzlich kann man Simulationen durch ihren Grad der Realitätstreue unterscheiden. Je genauer und detaillierter das Verhalten der einzelnen Fahrzeuge abgebildet werden soll, umso größer wird die erforderliche Rechenleistung. Komplexe Simulationen bringen so selbst neueste Computersysteme an ihre Grenzen, mit

steigender Größe des zu simulierenden Verkehrsnetzes steigt der Rechenaufwand. So sind Simulationen von großen Netzen meist sehr abstrakt, wohin gegen kleine Verkehrsnetze sehr genau simuliert werden können. Man unterscheidet, je nach Abstraktionsstufe, verschiedene Modellierungsansätze:

2.1.1 Makroskopische Verkehrssimulation

Um großflächige Netze zu beschreiben, werden makroskopische Verkehrssimulationen verwendet. Erste Versuche, Verkehr als hydrodynamisches Modell zu beschreiben, wurden in den 1950er Jahren von M. J. Lighthill, F.R.S. und G. B. Whitham durchgeführt [LigPtI55], [LigPtII55].

Fahrzeuge werden nicht als einzelnes Objekt im System betrachtet, sondern als Gesamtheit aller Fahrzeuge im Netz, die durch einen kontinuierlichen Volumenstrom repräsentiert werden. Dieser Volumenstrom kann als Analogie zur Flussdynamik formuliert werden. So können die verkehrstechnischen Kenngrößen *Verkehrsstärke*, *mittlere Geschwindigkeit* und *Verkehrsdichte* äquivalent zu den Strömungsgrößen *Volumenstrom*, *Strömungsgeschwindigkeit* und *Dichte* behandelt werden. [Erl07] Die Verkehrsdichte $\rho(x, t)$ und die mittlere Verkehrsgeschwindigkeit $v(x, t)$ werden durch zwei gekoppelte partielle Differentialgleichungen in Abhängigkeit von Ort und Zeit beschrieben. Dabei entspricht die Verkehrsdichte $\rho(x, t)$ dem Kehrwert des mittleren Fahrzeugabstandes. [vgl. Abb. 4] Makroskopische Modelle werden meist zur Echtzeitoptimierung und zur Verkehrszustandsschätzung wie. z. B. für eine Stauprognose auf großen Verkehrsnetzen wie dem deutschen Autobahnnetz eingesetzt. [Ros01]

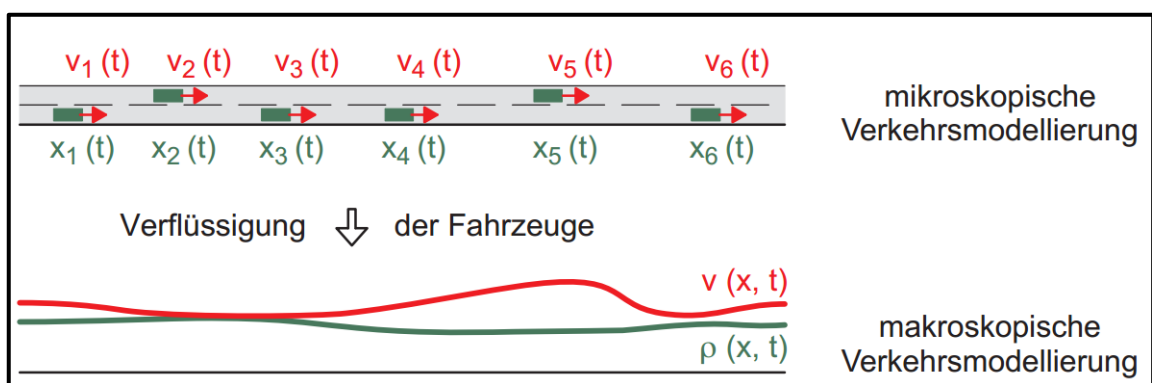


Abbildung 4. Übergang von der mikroskopischen zur makroskopischen Modellierung [Ros01]

2.1.2 Mikroskopische Verkehrssimulation

Im Unterschied zur makroskopischen Verkehrssimulation werden bei der mikroskopischen Verkehrssimulation keine Verkehrsströme betrachtet, das Verhalten von Fahrer und Fahrzeug wird als gemeinsame Fahrzeugeinheit (FFE) simuliert. Jede FFE im Netz wird als einzelnes, allein agierendes Objekt betrachtet, das mit anderen Objekten im Netz interagiert. Diese Interaktionen werden durch Rechenvorschriften zur Berechnung von Geschwindigkeiten und Beschleunigungen beschrieben.

Größter Vorteil von mikroskopischen Verkehrssimulationen ist ein hoher erreichbarer Realitätsgrad. Einflüsse von direkten Verkehrssteuerungsmaßnahmen wie z. B. eine Änderung der Höchstgeschwindigkeit auf einer Strecke können so sehr genau simuliert und ausgewertet werden.

Um die FFE möglichst realitätsnah auf mikroskopischer, aber auch auf makroskopischer Ebene durch das auf dem Computer simulierte Straßennetz zu steuern, kommen unterschiedliche Verhaltensmodelle in Simulationen zum Einsatz. Diese Modelle kann man grob anhand ihrer unterschiedlichen Zielsetzung in „Abstandsmodelle“ und „Spurwechselmodelle“ einteilen. Abstandsmodelle regeln die Geschwindigkeit der FFE in Abhängigkeit der Position und Geschwindigkeit des Vordermannes (Fahrzeugfolgemodelle), wohingegen Spurwechselmodelle den Wechsel der Fahrspur, ohne eine Gefährdung bzw. Kollision mit anderen FFEs zu gewährleisten, steuern. [Erl07]

2.1.3 Submikroskopische Modelle

Submikroskopische Modelle bilden eine weitere Verfeinerung von mikroskopischen Modellen. Die Fahrer-Fahrzeugeinheit wird noch feiner aufgelöst, einzelne Teile eines Fahrzeuges wie z.B. Motor oder Getriebe werden auf einem relativ abstrakten Niveau simuliert. [Erl07] Durch diesen Detaillierungsgrad steigt der Rechenaufwand deutlich, sodass submikroskopische Modelle meist nicht in der Lage sind, die Bewegung vieler Fahrzeuge in einer vertretbaren Zeit zu simulieren.

2.1.4 Mesoskopische Verkehrssimulation

Mesoskopische Modelle bilden die Verbindung zwischen der makroskopischen bzw. mikroskopischen Betrachtungsweise. Sie weisen Merkmalszüge von beiden Modellen auf. Ein Beispiel hierfür ist eine mikroskopische Simulation an Knotenpunkten, kombiniert mit einer makroskopischen Simulation von freien Strecken zwischen den Knotenpunkten in einer einzigen Simulation.

2.2 Lichtsignalanlagensteuerung

„Die Lichtsignalsteuerung bestimmt maßgeblich die Verkehrsabwicklung in Verkehrsnetzen, an Streckenabschnitten und an Knotenpunkten. Sie ist damit ein wichtiges Instrument im Rahmen übergeordneter Verkehrskonzepte [...]. Als dynamisches Element ist die Lichtsignalsteuerung ein wichtiger Bestandteil des Verkehrsmanagements.“ [FSV10]

2.2.1 Festzeitsteuerung

Einfachste Form der Lichtsignalanlagensteuerung ist die sog. Festzeitsteuerung. Eine vorher festgelegte Abfolge von Signalbildern wird bei einer konstanten Umlaufzeit nacheinander geschaltet. Wenn das Programm einmal durchgelaufen ist, beginnt es erneut. Eine Anpassung ist nur nach Wochentag oder Tageszeit möglich, sodass z.B. für Morgen- bzw. Abendspitze angepasste Programme geschaltet werden können. Es gibt keine Einflussmöglichkeit durch Verkehrsteilnehmer.

2.2.2 Verkehrsabhängige Steuerung

Mit der Entwicklung digitaler Rechner in den 1960er Jahren entstanden neue Möglichkeiten der Lichtsignalanlagensteuerung. Die zuvor meist manuellen Steuerungen wurden durch Algorithmen abgelöst, die von Rechnern automatisch gelöst werden konnten. Mit diesen neuen Softwaretools war es nun möglich, ohne großen Aufwand typische Verkehrssituationen zu erkennen und die zur Verkehrssituation passende Signalschaltung anzuwenden. Eine weitere neue Möglichkeit war es, die Lichtsignalanlage durch digitale Steuerungssoftware direkt vom Rechner zu steuern. Für eine verkehrsabhängige Lichtsignalanlagensteuerung haben

sich nach [Fri00] zwei verschiedene Ansätze herausgebildet, die bis heute noch verwendet werden:

Logikbasierter Ansatz

Die Lichtsignalanlagensoftware entscheidet nach zuvor durch Verkehrsingenieure festgelegten Logiken, je nach Eingangsparametern wie z.B. ÖPNV-Anmeldung oder belegte Detektoren, welche Steuerungsentscheidung zu treffen ist. Eine Optimierung findet nicht statt, da die Lichtsignalanlage nur auf die aktuelle Verkehrssituation reagiert und Entscheidungen nicht bewertet.

Adaptiver Ansatz

Basis für einen adaptiven Ansatz ist eine online-Modellierung der Verkehrssituation. Aufbauend auf dieser Simulation testet der Steuerungsalgorithmus systematisch alle möglichen Steuerungsmöglichkeiten der Lichtsignalanlage und bewertet diese nach der Wirkung im Modell. Anhand der besten Ergebnisse wird die Entscheidung getroffen.

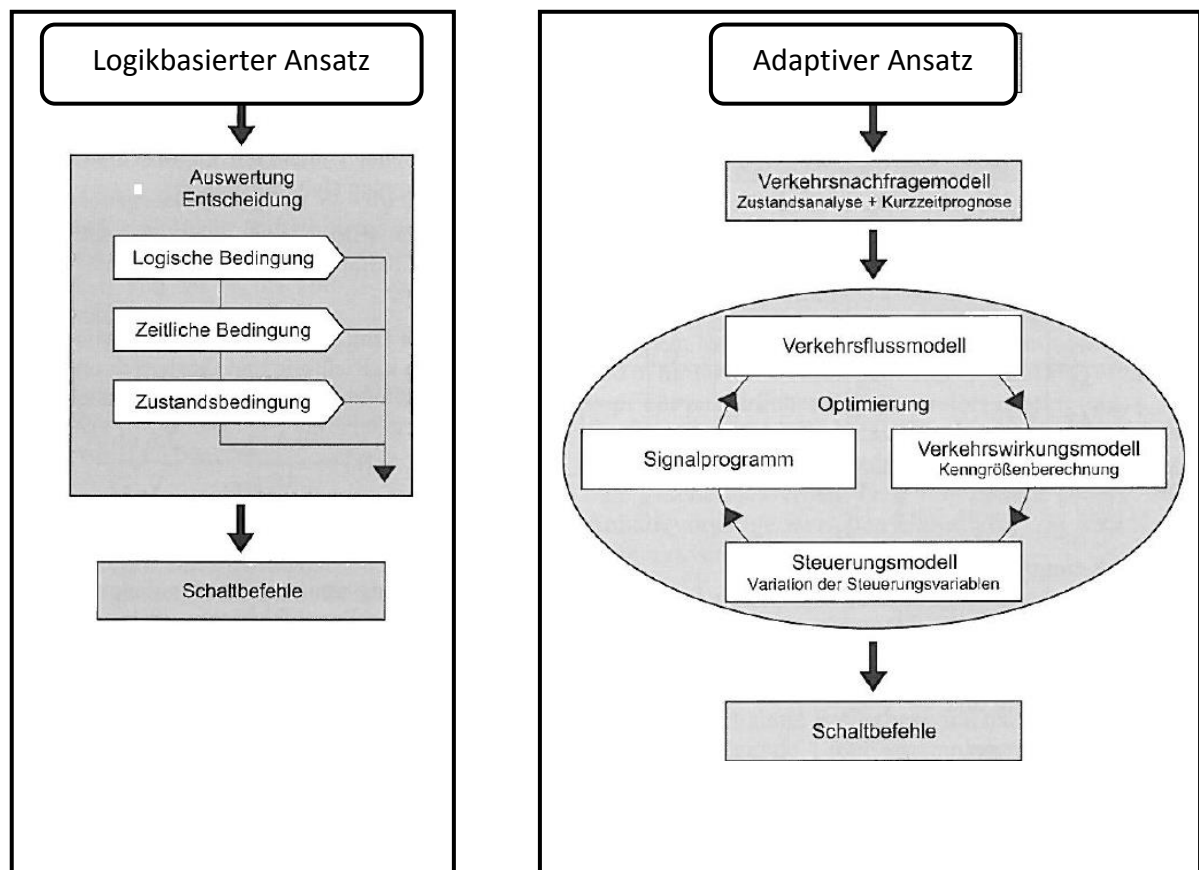


Abbildung 5. Logikbasierter und Adaptiver Ansatz nach [Fsv10]

Kenngrößenerfassung

Um eine Lichtsignalanlage verkehrsabhängig zu schalten, müssen Verkehrsdaten erfasst, ins System übertragen und verarbeitet werden. Als Basistechnologie hierfür hat sich eine stationäre Datenerfassung in Form von Detektoren etabliert. Vorrangig kommen Induktionsschleifen, Infrarotdetektoren und Videoerfassungssysteme zum Einsatz. Diese liefern Rückschlüsse über aktuelle Rückstaulängen, Informationen über wartende bzw. nicht vorhandene Verkehrsteilnehmer am Knotenpunkt und stellen so ein lokales Abbild der aktuellen Verkehrssituation dar.

Zusätzlich gibt es weitere Forschungsansätze, z.B. die Erfassung des Verkehrszustandes in großen Gebieten mit Hilfe von FCD (Floating Car Data). „Über eine permanente Datenerfassung der Bewegungskenngrößen einzelner Fahrzeuge entsteht aus räumlich-zeitlichen Verkehrsdaten und daraus abgeleiteten Verkehrskenngrößen ein detailliertes Verkehrslagebild der Umgebung der Fahrzeuge.“ [Ott11]

Steuerungsverfahren

Die erfassten Verkehrsdaten müssen in Schaltbefehle umgesetzt werden. Das Signalprogramm muss so verändert werden, dass es optimal an die aktuelle Verkehrssituation angepasst ist. Diese Anpassung geschieht anhand von zwei unterschiedlichen verkehrsabhängigen Steuerungsverfahren, der Signalprogramm-anpassung und der Signalprogrammbildung. Im Vergleich zur Festzeitsteuerung beinhalten diese beiden Verfahren unterschiedliche variable Elemente des Signalprogramms. [vgl. Tab. 1] Der Unterschied der Steuerungsverfahren lässt sich am besten anhand sog. „Grünerlaubnisbereiche“ veranschaulichen. Dies sind Bereiche eines Signalprogramms, in denen die Signalgruppen eine Freigabe erhalten können.

Oberbegriff	Hauptmerkmal der Veränderbarkeit des Signalprogramms	Daten- erfassung	veränderbare Elemente des Signalprogramms (• = variabel)			
			Umlauf- zeit	Phasen- folge	Phasen- anzahl	Freigabe- zeiten
Festzeit- Steuerung	Keine Veränderbarkeit	offline				
verkehrsabhängige Steuerungen	Signal- programm- anpassung	Freigabezeit- modifikation	online			•
		Bedarfsphasen- anforderung	online		•	•
	Signal- programm- bildung	Phasentausch	online	•		
		Freie Veränderbarkeit	online	•	•	•

Tabelle 1. Übersicht über LSA-Steuerungsverfahren [Kob07]

1. Bei Festzeitsteuerungen ist der Grünerlaubnisbereich fest definiert und kann nicht verändert werden.

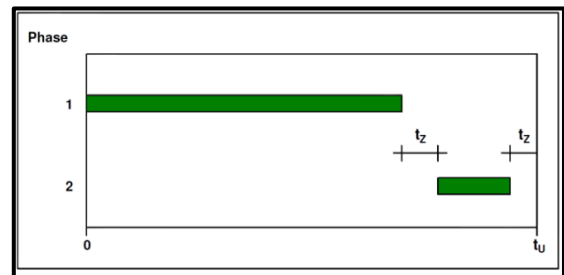


Abbildung 6. Grünerlaubnisbereich - Festzeitsteuerung [Bos07]

2. Bei der Signalprogrammanpassung wird für jede Phase eine Kernzeit mit zwei Dehnungsbereich definiert. Je nach Dateneingang kann eine Phase im Dehnungsbereich verlängert oder verkürzt werden.

Eine Überschneidung mehrerer Phasen ist nicht erlaubt, da die Zwischenzeiten eingehalten werden müssen.

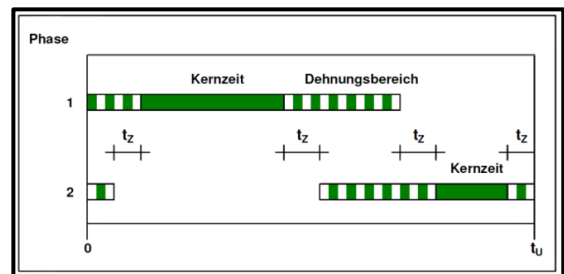


Abbildung 7. Grünerlaubnisbereich Signalprogramm-anpassung [Bos07]

3. Bei der Signalprogrammbildung kann zu jeder Zeit jede beliebige Phase geschaltet werden.



Abbildung 8. Grünerlaubnisbereich Signalprogramm-bildung [Bos07]

2.3 Simulationssoftware VISSIM

„VISSIM ist ein mikroskopisches, zeitschrittorientiertes und verhaltensbasiertes Simulationsmodell zur Nachbildung von Stadt- und Außerortsverkehr sowie von Fußgängerströmen.“ [Ptv11] Neben dem motorisierten Individualverkehr (MIV) können auch Fußgängerströme sowie der schienen- als auch der straßengebundene öffentliche Personennahverkehr (ÖV) simuliert werden. Entwickelt wird die Software seit 1992 von dem Karlsruher Unternehmen PTV Planung Transport Verkehr AG. Der Name VISSIM ist ein Akronym von „**V**erkehr in **S**tädten - **S**imulations**M**odell“. Aufgrund

der langen Entwicklungszeit und einer kontinuierlichen Weiterentwicklung ist VISSIM eine ausgereifte und leistungsstarke Software, die Marktführer auf dem Bereich der Verkehrssimulationen in Deutschland ist. Wesentlich für eine mikroskopische Verkehrssimulation ist das verwendete Verhaltensmodell, das beschreibt, wie sich die Fahrzeuge im Netz bewegen. VISSIM basiert auf dem psycho-physischen Fahrzeugfolgmodell von Wiedemann [Wie74] und dem Spurwechselmodell von Sparmann [Spa78]. [Ptv11]

2.3.1 Fahrzeugfolgmodell

Grundlage von Fahrzeugfolgmodellen ist die Annahme, dass eine FFE ihr Fahrverhalten ausschließlich an dem Verhalten des Vordermannes (Geschwindigkeit, Abstand) orientiert, die Reaktion der FFE wird einzig durch dieses Verhalten bestimmt. [Det10] *„The basic differential difference equations of the follow-the-lead theory express the idea that each driver of a vehicle responds to a given stimulus according to a relation such as*

$$\text{response} = \text{sensitivity} \times \text{stimulus}'' \text{ [Gaz61]} \quad (2.1)$$

Jede Reaktion eines Fahrers ist die Folge eines Reizes, abhängig von seiner individuellen Empfindlichkeit. Reuschel [Reu50] entwickelte 1950 ein deterministisches Grundmodell, bei dem die Geschwindigkeit des betrachteten Fahrzeugs proportional zum Nettoabstand des vorausfahrenden Fahrzeugs ist.

Diese grundsätzliche Überlegung wurde von Gazis, Herman, Potts und Rothery um die Überlegung erweitert, dass die Geschwindigkeit des nachfolgenden Fahrzeugs nur von der Geschwindigkeitsdifferenz und nicht vom Abstand der Fahrzeuge abhängig ist und zu nachstehender Gleichung zusammengefasst [Gaz61]:

$$\ddot{x}_{n+1}(t + \tau) = \lambda_{l,m} * \frac{[\dot{x}_{n+1}(t + \tau)]^m}{[x_n(t) - x_{n+1}(t)]^l} * [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] \quad (2.2)$$

mit

\ddot{x}_n	=	Beschleunigung des Fahrzeuges n
\dot{x}_n	=	Geschwindigkeit des Fahrzeuges n
x_n	=	Position des Fahrzeuges n
n	=	Nummer des betrachteten Fahrzeugs
$\lambda_{l,m}$	=	Sensibilitätskonstante
l, m	=	Kalibrierungsparameter
t	=	Zeitpunkt
τ	=	Reaktionszeit

Vereinfacht ergibt dies:

$$a_{n+1} = \lambda_{l,m} * \frac{(v_n + a_n * \tau)^m}{(\Delta x)^l} * \Delta v \quad (2.3)$$

mit

a_n	=	Beschleunigung des Fahrzeuges n
v_n	=	Geschwindigkeit des Fahrzeuges n
$\lambda_{l,m}$	=	Sensibilitätsfaktor
l, m	=	Kalibrierungsparameter
Δx	=	Bruttoweglücke
Δv	=	Relativgeschwindigkeit
τ	=	Reaktionszeit

Der Sensibilitätsfaktor $\lambda_{l,m}$ und die Kalibrierungsparameter l, m dienen zur Kalibrierung des Modells und sind von verschiedenen Fahrsituationen abhängig. Sie werden empirisch durch Verkehrsbeobachtungen erhoben und unterscheiden sich je nach Quelle. [Det10]

Bei diesem Fahrzeugfolgemodell treten einige Auffälligkeiten auf, die eine unzureichende Übereinstimmung mit der Realität aufweisen:

- Langsame Fahrzeuge beschleunigen, wenn das Fahrzeug vor ihnen schneller fährt.
- Fahrzeuge, die keinen Vordermann haben, sollten ihre persönliche Wunschgeschwindigkeit fahren und nicht die des Vordermanns.
- Ein Verkehrszusammenbruch, wie er bei hohen Verkehrsstärken zu beobachten ist, kann nicht nachgebildet werden. (z. B. der sog. „Stau aus dem Nichts“)

Beim Fahrzeugfolgemodell wird davon ausgegangen, dass der Fahrer zu jeder Zeit den Abstand bzw. die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeuges kennt und jeder Zeit auf Veränderungen reagieren kann. Das individuelle Wahrnehmungsvermögen des Menschen, ob und wann ein Fahrer auf eine unterschiedliche Geschwindigkeit reagiert, wird in diesem Modell nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund entwickelte Wiedemann 1974 das sog. psycho-physische Wahrnehmungsmodell. Die Grundidee des Modells basiert auf der Annahme, dass der Fahrer eines schneller fahrenden Fahrzeuges bei Erreichen seiner individuellen Wahrnehmungsschwelle zum vorausfahrenden Fahrzeug zu bremsen beginnt. Weil der Fahrer die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeuges nicht einschätzen kann, wird er wieder langsamer, seine Geschwindigkeit und die Geschwindigkeit des Vordermannes sinken. Die Wahrnehmungsschwelle wird wieder überschritten, der Fahrer beschleunigt. Dieses Verhalten führt zu einem ständigen Verzögern und Beschleunigen. [Ptv11]

In Abb. 9 sind die vier verschiedenen Fahrzustände dargestellt, die sich nach [Wie74] ergeben:

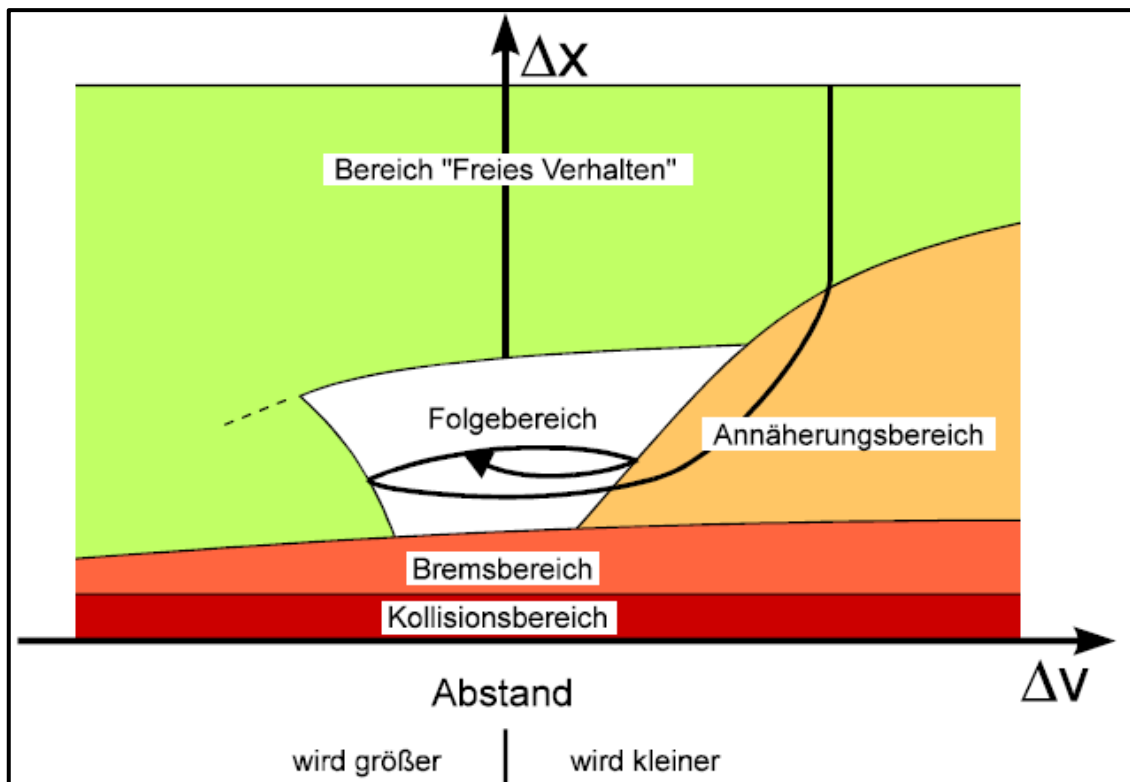


Abbildung 9. Fahrzeugfolgmodell nach Wiedemann [Ptv11]

Bereich „Freies Verhalten“

Das Fahrzeug versucht, ohne den Einfluss anderer Fahrzeuge seine Wunschgeschwindigkeit zu erreichen.

Folgebereich

Das Fahrzeug folgt dem vorausfahrenden Fahrzeug ohne bewusstes Bremsen oder Beschleunigen. Ein Sicherheitsabstand wird relativ konstant eingehalten.

Annäherungsbereich

Das Fahrzeug wird bewusst durch das Vorderfahrzeug beeinflusst und passt seine Geschwindigkeit dem vor ihm fahrenden Fahrzeug an.

Bremsbereich „Abwenden einer Gefahrensituation“

Fällt die Distanz zum Vorderfahrzeug unter den gewünschten Sicherheitsabstand, bremst der Fahrer, um den Sicherheitsabstand wiederherzustellen.

Einen besonderen Wert legt Wiedemann in seinem Modell auf eine stochastische Beschreibung des Fahrzeugfolgeverhaltens. Die Wahrnehmungsschwellen, die

maximale Beschleunigung sowie maximale Verzögerung werden mithilfe von geschwindigkeitsabhängigen Normalverteilungen beschrieben. [Det10]

2.3.2 Spurwechselmodell

Spurwechsel in VISSIM werden basierend auf dem Spurwechselmodell von Sparmann berechnet. Aufbauend auf Wiedemanns Arbeiten entwickelte Sparmann ein Modell, dass das Verhalten von Fahrzeugen auf zweistreifigen Fahrbahnen beschreibt. Es wird zwischen dem linken Fahrstreifen (Überholspur) und dem rechten Fahrstreifen (Fahrspur) unterschieden. In Bezug auf Wiedemann ergeben sich drei diskrete Fahrzustände [Erl07]:

Unbeeinflusst

Dieser Zustand entspricht dem Bereich „freies Fahren“ nach Wiedemann.

Potenziell beeinflusst

Das Fahrzeug wird noch nicht direkt beeinflusst, aber eine Beeinflussung in den folgenden Zeitschritten ist wahrscheinlich.

Aktuell beeinflusst

Das Fahrzeug wird direkt beeinflusst.

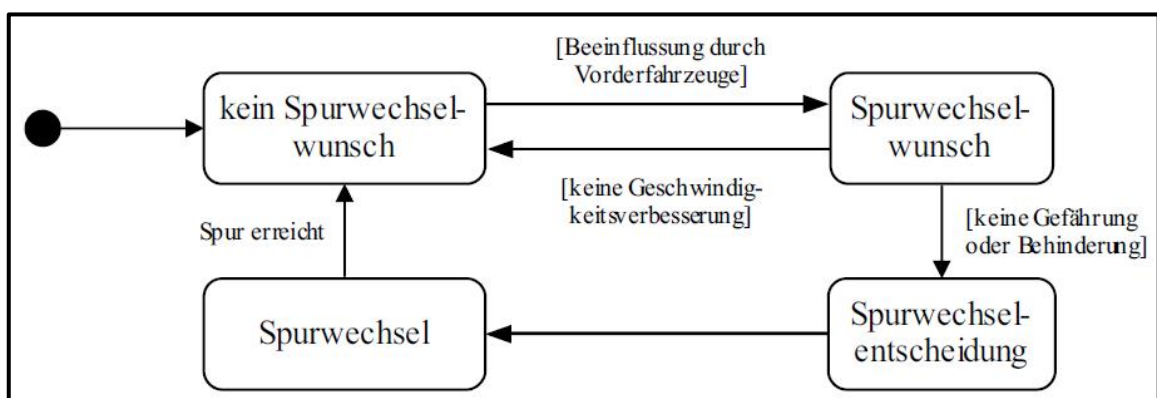


Abbildung 10. Zustandsdiagramm des Spurwechselvorgangs nach Sparmann [Erl07]

Durch einen Spurwechsel versuchen Fahrzeuge, ihre Wunschgeschwindigkeit beizubehalten. Hierfür fällt der Fahrer schon frühzeitig eine Entscheidung, um nicht potenziell oder sogar aktuell beeinflusst zu werden. Der Idealzustand der unbeeinflussten Fahrt sollte möglichst aufrechterhalten werden. Falls ein Spurwechsel

aufgrund von Sicherheitsbeschränkungen nicht möglich ist, muss der Fahrer bremsen und seine Geschwindigkeit anpassen. Die Entscheidung zum Rückwechsel von der Überholspur zur Fahrspur wird während des Überholvorgangs getroffen. Sie basiert auf dem Rechtsfahrgebot und dem Drang des Fahrers, den anderen Verkehr möglichst nicht zu beeinflussen. Sobald die Verkehrssituation die Wunschgeschwindigkeit für den Fahrer auf der Fahrspur für eine bestimmte Zeit zulässt und eine Beeinflussung durch vorausfahrende Fahrzeuge wegen einen Rückwechsel auf die Überholspur ausgeschlossen werden kann, wird der Fahrstreifenwechsel vollzogen. Der Rückwechsel kann durch nachfolgende, schnellere Fahrzeuge beeinflusst werden. [Det10]

2.3.3 Lichtsignalanlagensteuerung in VISSIM

VISSIM bietet die Möglichkeit, eine Vielzahl unterschiedlicher Lichtsignalanlagensteuerungen in eine Simulation zu integrieren. Es können sowohl einfache Festzeitsteuerungen als auch signalgruppenorientierte verkehrsabhängige Steuerungslogiken implementiert werden. Je nach Einstellung und Typ werden Detektorwerte in Zeitschritten von 1 bis zu 1/10 Sekunde angefragt. Für jede Lichtsignalanlage im Modell kann die Steuerung individuell angelegt und bearbeitet werden. [Kob07]

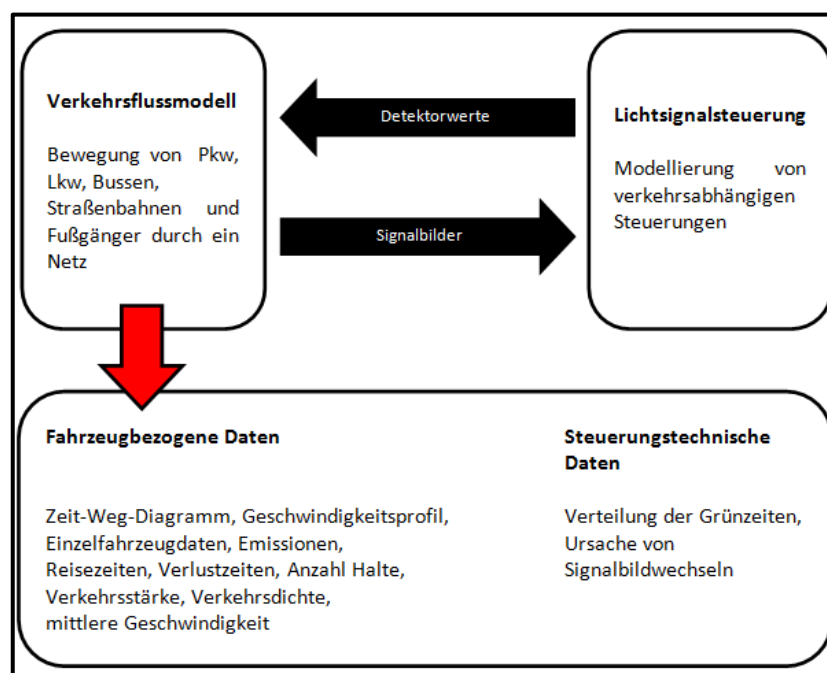


Abbildung 11. Kommunikation zwischen Verkehrsflussmodell und Lichtsignalsteuerung nach [Ptv11]

Wie in Abb. 11 zu erkennen ist, besteht VISSIM aus zwei verschiedenen Teilen; dem Verkehrsflussmodell und der Lichtsignalanlagensteuerung, die über eine Schnittstelle kommunizieren, an der Detektormessungen und Signalisierungszustände ausgetauscht werden. Verkehrsabhängige Steuerungen können auf Detektorwerte zugreifen und logikbasiert Entscheidungen treffen, die in Form von Signalisierungszuständen aller Lichtsignale wieder an das Verkehrsflussmodell zurückgegeben werden. [Ptv11]

Eine Möglichkeit der Modellierung von Verkehrsabhängigen Steuerungen ist VAP (**V**erkehrs**A**bhängige**P**rogrammierung). Diese ist ein Zusatzmodul von VISSIM zur Simulation einer frei programmierbaren, phasen- oder signalgruppenorientierten, verkehrsabhängigen Signalsteuerung. Im Gegensatz zu anderen üblichen Steuerungsverfahren für Lichtsignalanlagen wie z.B. VS-PLUS von der Verkehrs-Systeme AG oder TL (**T**raffic**L**anguage) von Siemens handelt es sich hierbei nicht um ein Steuerungsverfahren, dass in dieser Form auf Steuerungseinheiten verschiedener Lichtsignalanlagen-Hersteller läuft. Großer Vorteil von VAP ist die relativ einfache Anwendung mittels einer nicht komplexen Programmiersprache in einer Textdatei, die nahezu jedes beliebige LSA-Steuerungsverfahren nachbilden kann. [Ptv11] Basisdaten wie Phasenfolgeplan, Zwischenzeitmatrizen und Lagepläne werden in VISSIM eingelesen, mit VAP nach vorher festgelegten Bedingungen abgefragt und über Befehle auf Detektorwerte zugegriffen [vgl. Abb. 12]. Grundsätzlich wird die Steuerungslogik am Ende jeder Simulationssekunde vom Anfang bis zum Ende durchlaufen. Mit dem Logikeditor VISVAP ist es möglich, Logiken als Flussdiagramm darzustellen, zu bearbeiten und in einen VAP-Quelltext zu übersetzen.

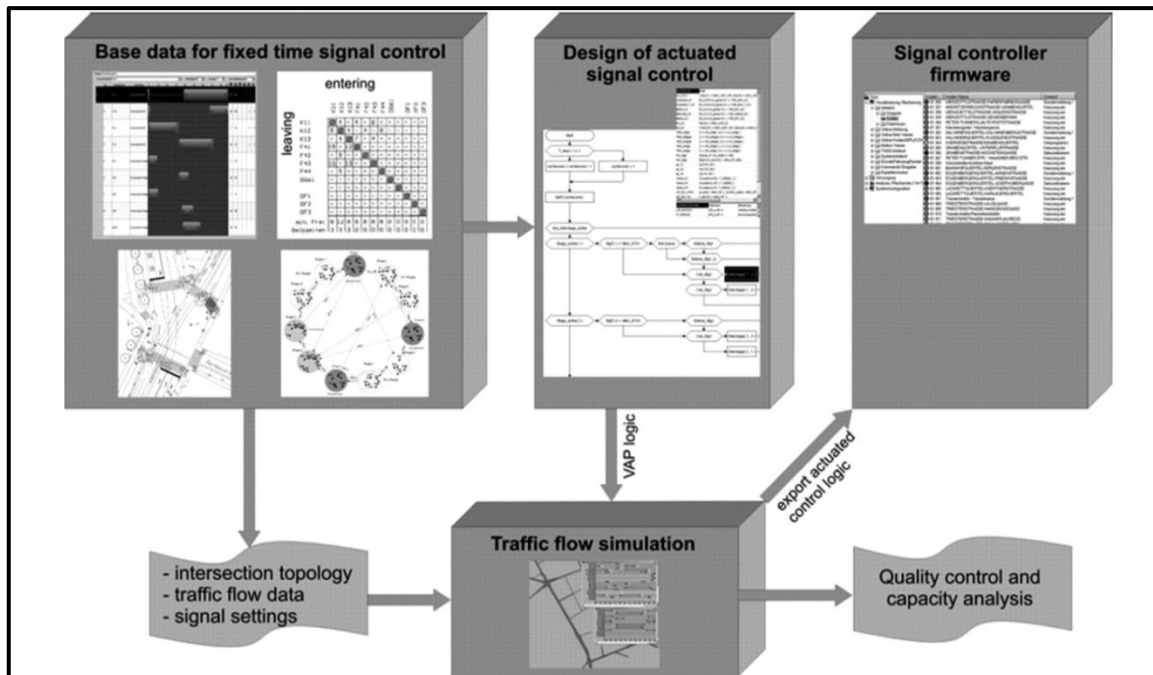


Abbildung 12. Struktur der Umsetzung einer verkehrsabhängigen Signalsteuerung mit VAP [Fel10]

2.4 Mathematische Grundlagen

„Das stochastische Wesen des Verkehrs impliziert die Notwendigkeit, diese Art der Variabilität auch in VISSIM-Modellen abzubilden.“ [Ptv10] Parameter werden durch verschiedene stochastische Verteilungen zufällig generiert. Speziell für die Auswertung der Simulationsdaten sind statistische Grundwerte zu berechnen, um eine Vergleichbarkeit der Daten herzustellen.

Arithmetischer Mittelwert

Der Mittelwert einer Stichprobe vom Umfang n mit den quantitativen Stichprobenwerten x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) kann als arithmetische Mittel \bar{x} gebildet werden [Pre07]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} = \sum_{i=1}^m x_i \quad (2.4)$$

Empirische Varianz und Standardabweichung

Überwiegend bei quantitativen Daten wird die empirische Varianz s^2 bei einer Stichprobe vom Umfang n als Maß für die Streuung der Werte einer Zufallsvariabel x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) verwendet. Für $n > 1$ ist die definiert als [Pre07]:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.5)$$

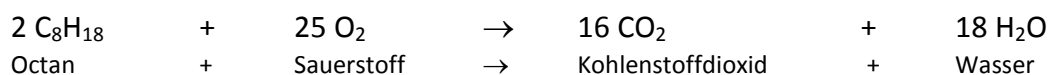
Die positive Quadratwurzel aus der Varianz s^2 wird als Standardabweichung s bezeichnet:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.6)$$

2.5 Kohlenstoffdioxid- (CO₂-)Emission

Um in VISSIM die CO₂-Emission zu bestimmen, muss der Kraftstoffverbrauch auf die Emission umgerechnet werden. Die einzelnen Kraftstoffe stellen keine Fraktion bestimmter Kohlenstofflänge dar, sondern setzen sich aus einem Gemisch verschieden langer Kohlenwasserstoffe zusammen. Bei der Berechnung der Kohlenstoffdioxid-Emissionen wird daher von einer mittleren Kohlenstoffanzahl und einer mittleren Dichte jeder Kraftstoffart ausgegangen.

Die bei der vollständigen Verbrennung von Benzin ablaufenden Vorgänge können durch die folgenden (vereinfachten) chemischen Reaktionsgleichungen beschrieben werden:



Die Verbrennung von 228 g Octan (2 Mol) erzeugt nach der Reaktionsgleichung 704 g (16 Mol) Kohlenstoffdioxid. Berücksichtigt man die Dichte von Octan mit gerundet 0,76 g/cm³, d. h. 1 Liter Octan wiegt 760 g, erzeugt die Verbrennung von 760 g oder 1 Liter Benzin dann **2,35 kg CO₂**.

3 Modellierung

Eine möglichst genaue und gut recherchierte Modellierung bildet die essentielle Grundlage für jede mikroskopische Simulation. Daten müssen erfasst, analysiert und ins Modell integriert werden, sodass mit diesen, nur stichprobenartigen Informationen reale Zustände abgebildet werden können.

Für den Aufbau einer Simulation in VISSIM hat sich folgende Modellierungsreihenfolge als sinnvoll erwiesen:

3.1 Netzaufbau

Grundlage des Netzaufbaus bilden Satellitenkarten von Google Earth und Lagepläne der Knotenpunkte. Die Satellitenbilder der Halberstädter Straße von Google Earth stammen aus dem Jahr 2006. Durch Neubauten von Einkaufscenter hat sich an einigen Stellen die verkehrstechnische Situation geändert. Deshalb werden die Karten durch Ortsbegehungen und aktuellen Fotografien ergänzt, um ortseigene Besonderheiten und Veränderungen zu erkennen.

Basierend auf diesen Daten wird das Straßen- und Radwegenetz von Ost nach West aufgebaut. Die Anzahl, Breite und Ausrichtung der Fahrspuren sollten möglichst genau der Realität entsprechen.

Der verkehrstechnisch zu untersuchende Straßenzug Halberstädter Straße liegt im Südwesten von Magdeburg im Stadtteil Sudenburg und verläuft 1,8 Kilometern von Nordosten nach Südwesten. Größtenteils ist die Straße zweispurig ausgebaut, es gilt eine Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. Auf beiden Seiten der Straße führen Radwege entlang, die in den Bereichen der Knotenpunkte teilweise als Fahrradstreifen geführt werden. Der Straßenzug bildet das geschäftliche Zentrum des Stadtteils Sudenburg mit vielen kleineren Geschäften, Imbissen und Cafés. Er setzt sich aus 14 Knotenpunkten zusammen, von denen fünf mit Lichtsignalanlagen ausgestattet sind [vgl. Abb. 13]. Durch die zentrale Lage in Sudenburg hat der Straßenzug eine große Bedeutung für den motorisierten Individualverkehr (MIV) sowie für den öffentlichen

Personennahverkehr (ÖPNV). Neben dem täglichen Berufsverkehr haben insbesondere die ÖPNV-Linien großen Einfluss auf den Verkehrsablauf.

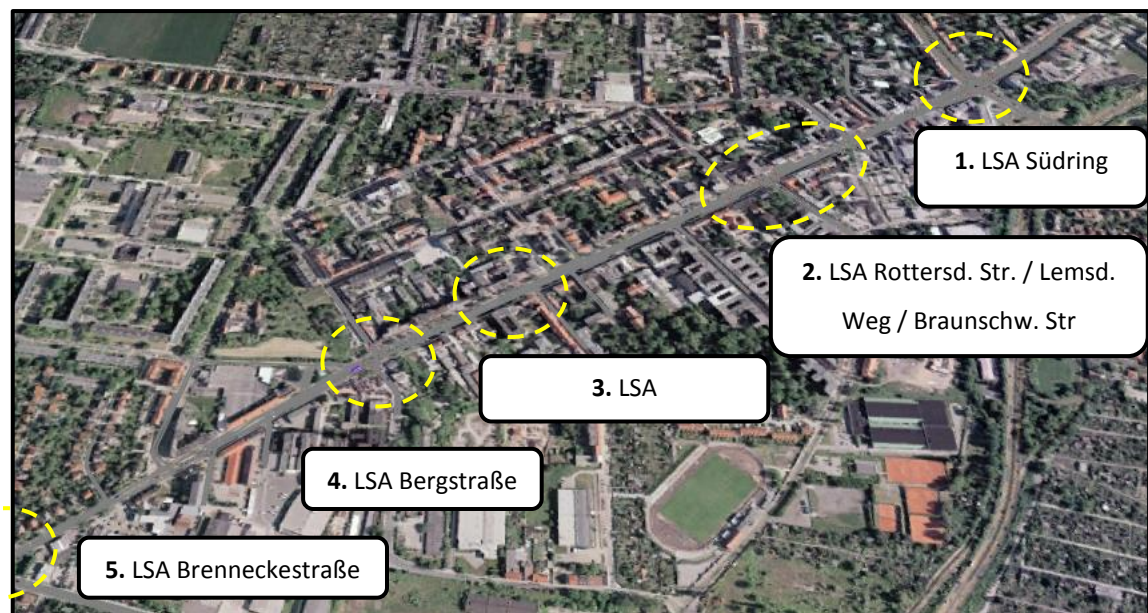


Abbildung 13. Grafische Darstellung der Halberstädter Straße

Auf der Halberstädter Straße verkehren die Straßenbahnlinien 1 und 10, zu den Hauptverkehrszeiten im 10-Minuten-Takt. Schienen- und Straßenverkehr sind auf weiten Teilen nicht räumlich getrennt. Die Bahnen fahren auf der jeweils linken Spur. An der Strecke liegen mehrere ÖPNV-Haltestellen. Dort, wo Schiene und Straße nicht räumlich getrennt sind, halten die Straßenbahnen auf der Straße. Ergänzt wird der ÖPNV durch einige Stadt- und Regionalbuslinien, die im Bereich der Halberstädter Straße von 16.00 bis 17.00 Uhr verkehren.

Verkehrsmittel	Liniennummer	Häufigkeit
Straßenbahn	1	6
Straßenbahn	5	9
Straßenbahn	10	6
Stadtbus	52	9
Stadtbus	54	6
Stadtbus	55	4
Stadtbus	57	12
Stadtbus	61	2
Stadtbus	602	1

Tabelle 2. ÖPNV auf der Halberstädter Straße von 16.00 bis 17.00 Uhr

Nach Fahrplan werden die ÖPNV-Linien anhand der Linienfahrpläne angelegt im Programm angelegt. In VISSIM können nur die Einfahrzeiten der Linien ins Netz definiert werden. Aus diesem Grund muss eine Versatzzeit berücksichtigt werden, die das Fahrzeug von der Einfahrt (ins Modell), bis zur ersten Haltestelle benötigt.

Auf den Routen der ÖPNV-Linien werden die zugehörigen Haltestellen definiert. Eine Besonderheit in der Modellierung sind die Straßenbahnhaltestellen auf der linken Fahrspur. Die Fahrgäste warten am Fahrbahnrand, wenn die Straßenbahn in den Haltestellenbereich einfährt, überqueren sie die rechte Fahrspur und steigen ein. Der Kfz-Verkehr muss hinter der Haltestelle warten, bis der Fahrgastwechsel vollzogen ist und die Straßenbahn die Fahrt wieder aufnimmt. Hinter der Haltestelle werden Querverkehrsstörungen für den Verkehr im Modell angelegt, sodass Fahrzeuge immer dort warten, wenn sich eine Straßenbahn im Haltestellenbereich befindet. [vgl. Abb.14]

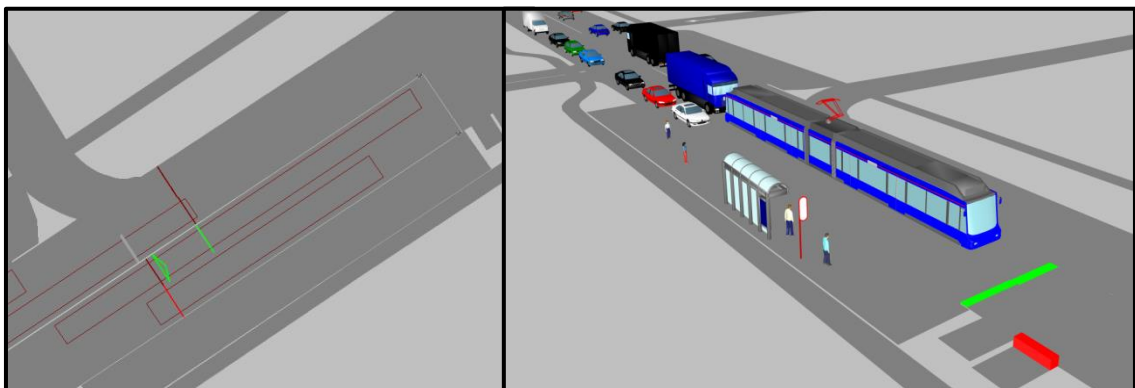


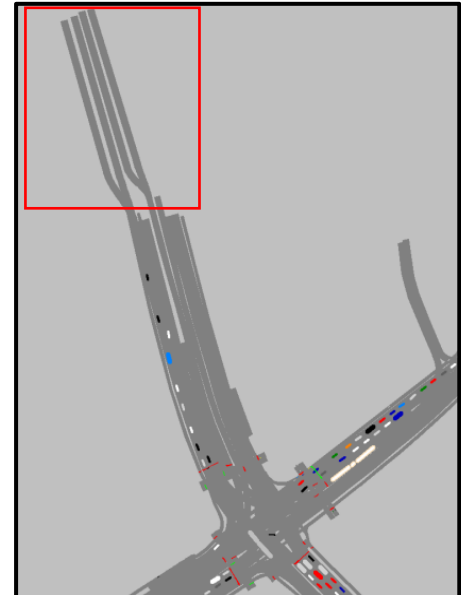
Abbildung 14. Haltestellenmodellierung in VISSIM

An allen Haltestellen werden Fußgängerflächen angelegt, um den Fußgängerverkehr und das Ein- und Aussteigen zu simulieren.

Grundsätzlich sind hierfür alle notwendigen Elemente in der Simulation integriert. Eine Simulation mit Fußgängern in einem so großen Netz ist aufwändig, weil ein großer Rechenaufwand notwendig ist. Mit der verwendeten Hardware ist dies nicht ohne weiteres möglich, in der Simulation wurden daher der Fußgängerzufluss und Aussteigeranteil an den Haltestellen auf null gesetzt. Ein weiteres Problem ergibt sich durch die verwendete VISSIM-Lizenz des ifaks, die eine maximale Anzahl von nur 30 Fußgängern auf allen Fußgängerflächen im Netz erlaubt.

Um annähernd realistische Aufenthaltszeiten an den Haltestellen zu simulieren, wird jeder Haltestelle im Netz eine Mindestaufenthaltsdauer anhand einer gewählten Zeitverteilung zugewiesen.

Die Streuung der Ankunftszeit von Fahrzeugen einer Linie wird mit sog. „Dummy“-Haltestellen an den Startstrecken der Linien in bzw. an das Netz modelliert. [vgl. Abb. 15] Diese Haltestellen liegen außerhalb des zu simulierenden Netzes. Es wird ihnen eine normalverteilte Haltestellenaufenthaltszeit zugewiesen. Hierzu ein Beispiel aus [Ptv10]. Für die Haltestellenaufenthaltszeit wird eine Normalverteilung (60, 20) mit einem Mittelwert von 60 s und einer Standardabweichung von 20 s angenommen.



Dies ergibt eine normalverteilte Aufenthaltszeit an der -Haltestelle mit 99 % Wahrscheinlichkeit zwischen 0 und 2 min.

Abbildung 15. Haltestellen in VISSIM

Da keine Daten über die Pünktlichkeit der ÖPNV-Linien vorhanden sind, wird angenommen, dass alle ÖPNV-Linien pünktlich verkehren. Falls Daten über die Pünktlichkeit zur Verfügung gestellt werden, können diese mit Hilfe der -Haltestellen in die Simulation übernommen werden.

Nächster Schritt des Netzaufbaus ist die Einrichtung von Konfliktflächen und Querverkehrsstörungen, um Vorfahrregeln (basierend auf der StVO) und Abbiegeverhalten im Netz zu modellieren. Grundsätzlich ist zunächst mit Konfliktflächen zu arbeiten. Wird so das Ziel einer realistischen Abbildung des Verkehrsablaufes nicht erreicht, können an den relevanten Stellen Querverkehrsstörungen eingesetzt werden. Bei bedingt verträglichen Linksabbiegern kommt es vor, dass die Modellierung mit Konfliktflächen kein gutes Ergebnis liefert, da linksabbiegenden Fahrzeuge nicht oder nur teilweise in die Kreuzung einfahren.

Anschließend können sog. Langsamfahrbereiche in das Modell implementiert werden. Es werden Langsamfahrbereiche definiert, in denen die Fahrzeuge im Netz eine langsamere Wunschgeschwindigkeitsverteilung haben. Um diese Wunschgeschwindigkeit zu erreichen, bremsen Fahrzeuge mit einer höheren

Geschwindigkeit schon vorher ab, um zu Beginn des Bereiches die gewünschte Geschwindigkeit zu fahren. Dies ist vor allem in Kurven und Knotenpunkten besonders wichtig, um ein realistisches Abbild zu erzeugen. Folgende Wunschgeschwindigkeiten werden angenommen:

Kurvenradius	PKW	LKW	BUS / Bahn
> 10m	30 km/h	25 km/h	25 km/h
< 10m	25 km/h	20 km/h	20 km/h

Tabelle 3. Abbiegegeschwindigkeiten in VISSIM

3.2 Zufluss- und Abbiegeraten

In VISSIM können Zuflüsse für alle Verkehrsarten definiert werden. Die Eingabe erfolgt in Fahrzeugen pro Stunde. Innerhalb der festgelegten Simulationszeit werden die Fahrzeuge poissonverteilt am definierten Streckenbeginn eingesetzt.

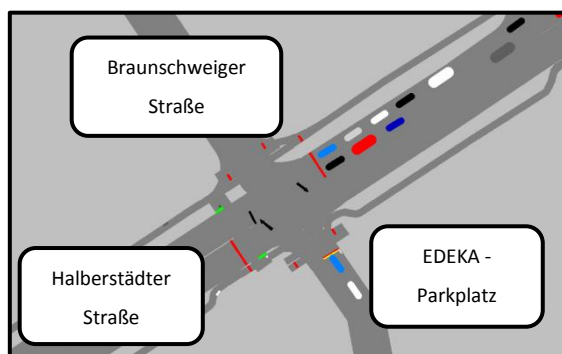


Abbildung 16. Knotenpunkt Braunschweiger Straße in VISSIM

Die Zuflussdaten für das Modell stammen teilweise aus einer makroskopischen Verkehrsumlegung von Magdeburg, deren Daten vom ifak zur Verfügung gestellt wurde.

Diese Verkehrsdaten werden für die Knotenpunkte Braunschweiger Straße, Rottersdorfer Straße und Brenneckestraße durch selbst durchgeführte Verkehrserhebungen ergänzt. Kombiniert mit der makroskopischen Umlegung ergibt sich so eine mögliche Verteilung der Zuflüsse und Abbiegeraten für die Simulation. Diese Rohdaten bilden die Grundlage der Simulation, sind aber noch nicht kalibriert und validiert [vgl. Kapitel 4]. Bei zweispurigen Straßen wird eine Zuflussverteilung von 60 % auf der rechten und 40 % auf der linken Spur angenommen. Zuflüsse und Abbiegeraten werden im sog. Strombelastungsplan visualisiert und dargestellt. Beispielhaft wird die Berechnung für den Knotenpunkt Braunschweiger Straße durchgeführt:

Strombelastungsplan Braunschweiger Straße

Basierend auf der makroskopischen Simulation wurden folgende Zufluss- bzw. Abbiegeraten ermittelt:

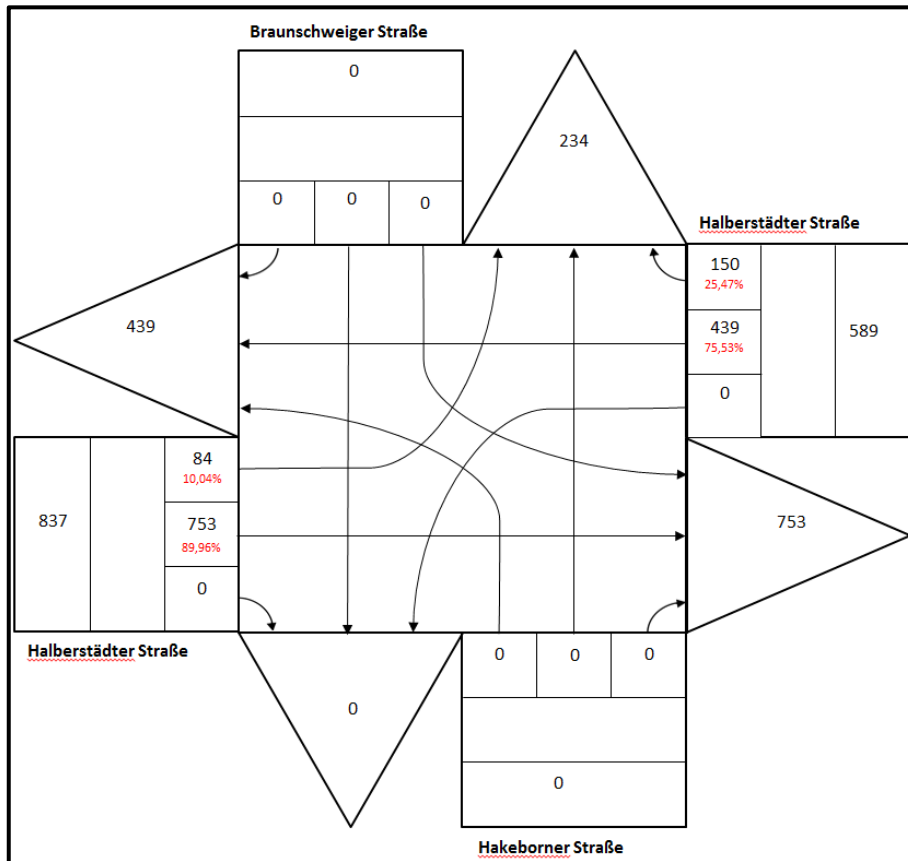


Abbildung 17. Strombelastungsplan Braunschweiger Straße aus Umlegung

Im Rahmen des Neubaus eines Einkaufszentrums im Jahre 2011 wurde die Verkehrsinfrastruktur neugestaltet und eine Lichtsignalanlage installiert. Diese Daten sind in der makroskopischen Umlegung nicht enthalten. Aus diesem Grund wurde am 01.11.2012 eine Verkehrszählung durchgeführt, um die Daten zu ergänzen und zu aktualisieren (vgl. Abb. 18). Neben dem Kfz-Verkehr wurde der Fußgänger- bzw. Radverkehr gezählt und im Diagramm hinterlegt.

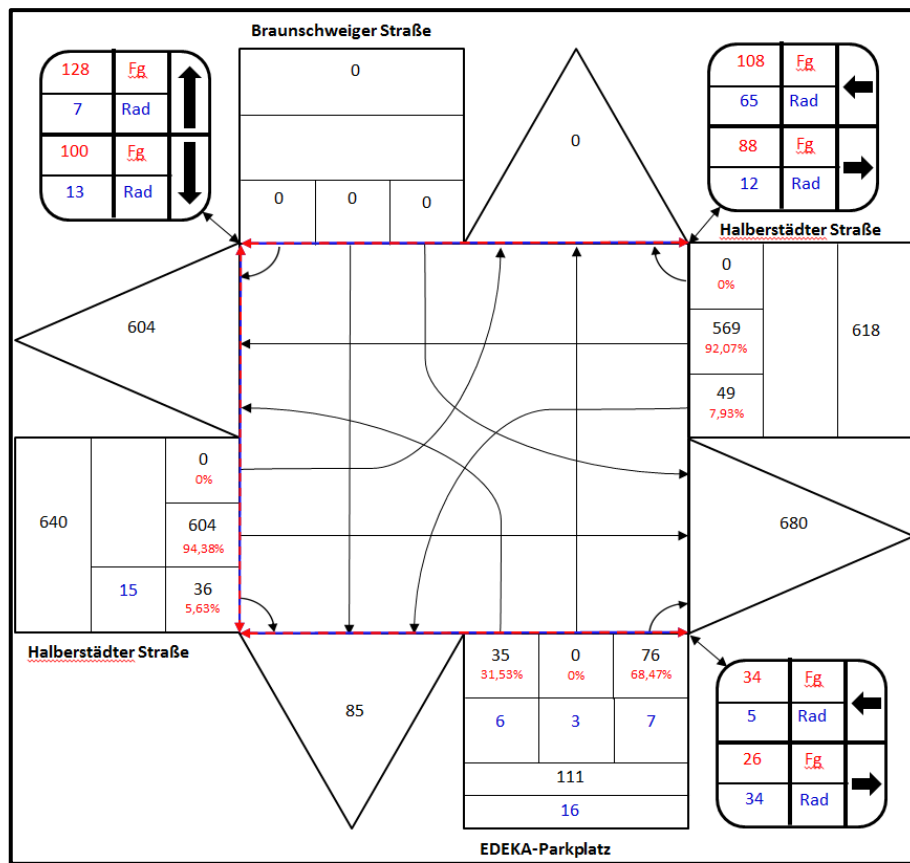


Abbildung 18. Strombelastungsdiagramm Braunschweiger Straße aus Verkehrszählung

Wegen Bauarbeiten war die Zufahrt in die Braunschweiger Straße während der Verkehrszählung gesperrt. Eine Kombination beider Strombelastungsdiagramme ist notwendig. [Abb. 19]

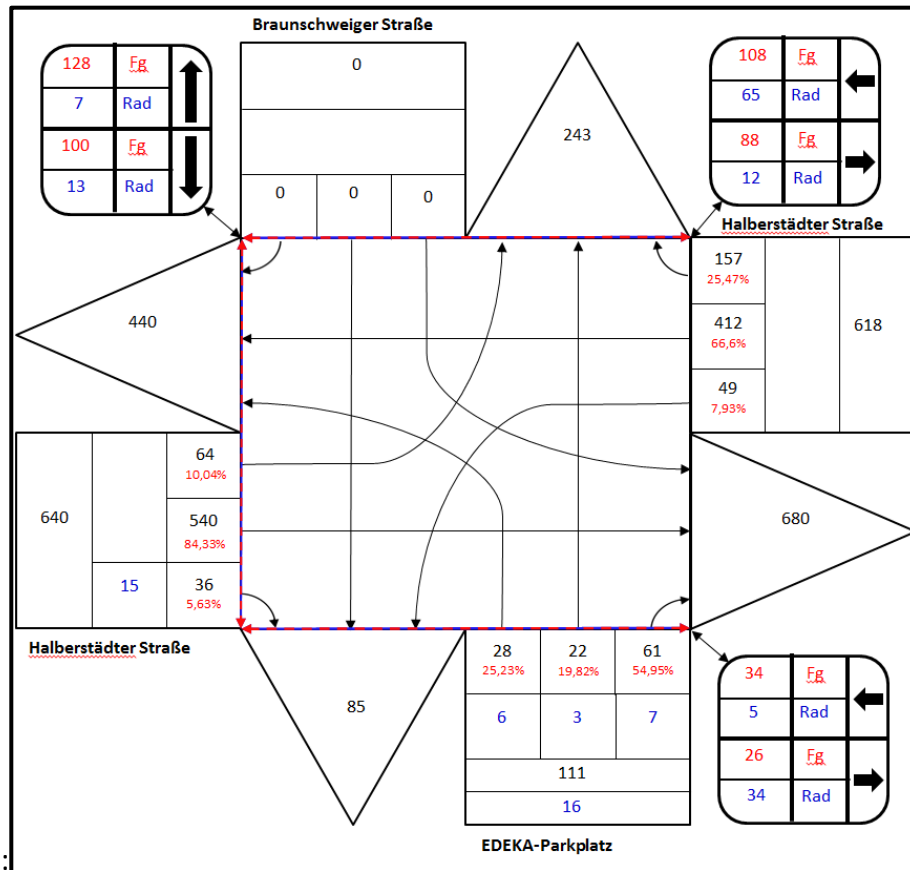


Abbildung 19. Strombelastungsdiagramm Braunschweiger Straße kombiniert

Strombelastungsdiagramme werden für jeden Knotenpunkt erstellt. Die restlichen Strombelastungsdiagramme befinden sich im Anhang [vgl. Anhang A]

Zuflussdaten für den Fußgänger- bzw. Radverkehr liegen nicht vor. Basierend auf den Verkehrszählungen an den Knotenpunkten Braunschweiger Straße und Brenneckestraße werden Abschätzungen für die anderen Knoten vorgenommen. Diese Abschätzung ist für die Simulation ausreichend, da der Personen- bzw. Fahrradverkehr nur geringen Einfluss auf die Simulation des MIV und ÖPNV hat.

Verkehrszusammensetzung

Bisher sind für das Modell nur mögliche Zuflüsse bestimmt. Nächster Schritt ist die Ermittlung der Verkehrszusammensetzung auf der Halberstädter Straße. Der Begriff „Verkehrszusammensetzung“ beschreibt den Anteil verschiedener Fahrzeugkategorien im Verkehr. Diese Daten stammen aus einer Verkehrsmessung des ifaks, die in der Woche vom 16.04.2012 bis zum 22.04.2012 auf der Halberstädter Straße, am Knotenpunkt Ambrosiusplatz mittels eines Verkehrsmess-System NC 97 F der Firma Messtechnik Mehl durchgeführt wurde. Bei der Querschnittsmessung wurde Fahrzeugtyp und Geschwindigkeit der Fahrzeuge erfasst. Abbildung 20 zeigt die Verkehrszusammensetzung in der Zeit von 16.00 bis 17.00 Uhr:

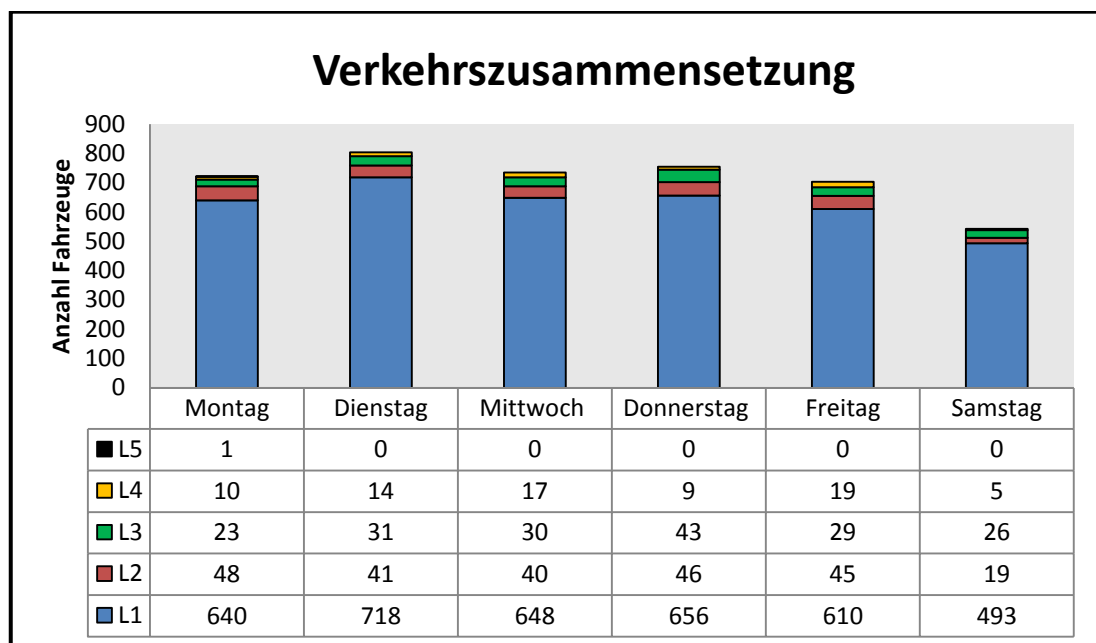


Abbildung 20. Verkehrszusammensetzung Halberstädter Straße

Die Angabe der Fahrzeuglänge erfolgt in den Längenklassen 1-5, wobei folgende Standardwerte gelten mit:

L 1	=	< 5,2 m	PKW
L 2	=	< 6,7 m	PKW mit Anhänger und Kleinlaster bis 3,5 t nach EU-Norm
L 3	=	< 10,1 m	LKW bis 7,5 t zul. Gesamtgewicht
L 4	=	< 25,0 m	LKW, LKW-Anhänger, Sattelzug
L 5	=	< 39,9 m	Sonderfahrzeuge

Dies ergibt die in Abb. 21 dargestellte prozentuale Zusammensetzung des Verkehrs:

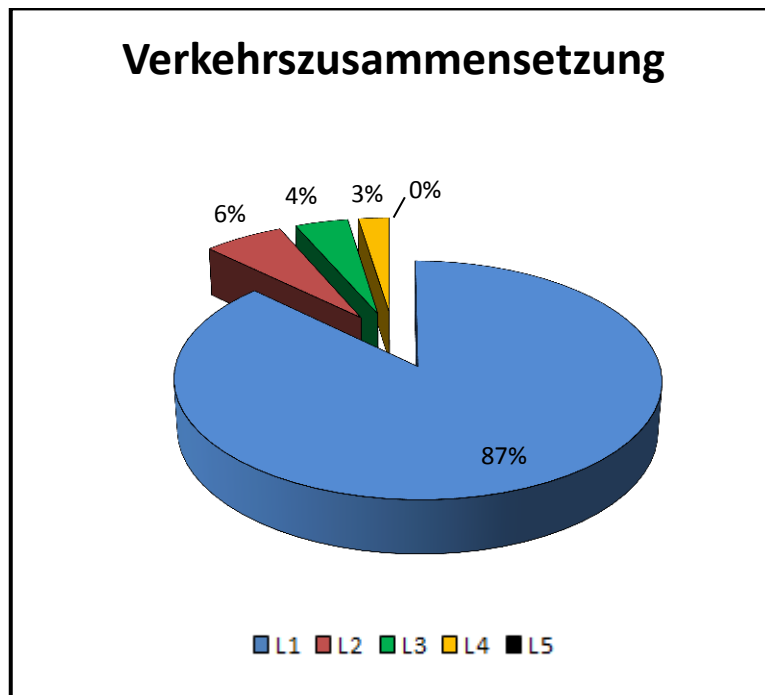


Abbildung 21. Prozentuale Verkehrszusammensetzung Halberstädter Straße

Für den Busverkehr liegen keine Daten vor, wann und auf welchen Linien die MVB (Magdeburger Verkehrsbetriebe) Gelenkbusse einsetzt. Zurzeit besitzen die MVB 27 Niederflurlinienbusse, 27 Niederflurgelenkbusse und einen Minibus, die auf allen Linien eingesetzt werden. Aus diesem Grund wird eine Verteilung der Bustypen von 50/50 auf den Stadtbuslinien angenommen. Auf den Regionallinien verkehren nur Regionalbusse. Seit dem 27. Januar 2013 werden in Magdeburg nur noch Niederflurgelenktriebwagen vom Typ NGT8D eingesetzt. [Mvb13]

3.3 Zeitbedarfswertermittlung

Der Zeitbedarfswert t_B ist die Zeit, die rückgestaute Kraftfahrzeuge innerhalb eines Fahrstreifens benötigen, um abzufließen. Für das Modell ist er insbesondere für die Kalibrierung von Bedeutung. Der Wert ist lokal verschieden und kann von mehreren Faktoren abhängen [Bos07]:

- Fahrzeugart
- Position innerhalb des Rückstaus
- Fahrstreifenbreite
- Kurvenradius bei Abbiegern
- Neigungsverhältnisse
- Fahrbahnbeschaffenheit
- Witterungs- und Lichteinflüsse
- Beschleunigungsvermögen des Fahrzeugs
- Reaktionsvermögen des Fahrers

Zur Messung des lokalen Zeitbedarfswertes wird die Zufahrt eines signalisierten Knotenpunktes über eine längere Zeit per Videokamera aufgenommen. Der Zeitbedarfswert kann über das sog. Zeitlückenverfahren bestimmt werden. Für jede Fahrzeugposition in der Warteschlange der Lichtsignalanlage wird er gemessen und anschließend der Mittelwert gebildet. [Nie01]

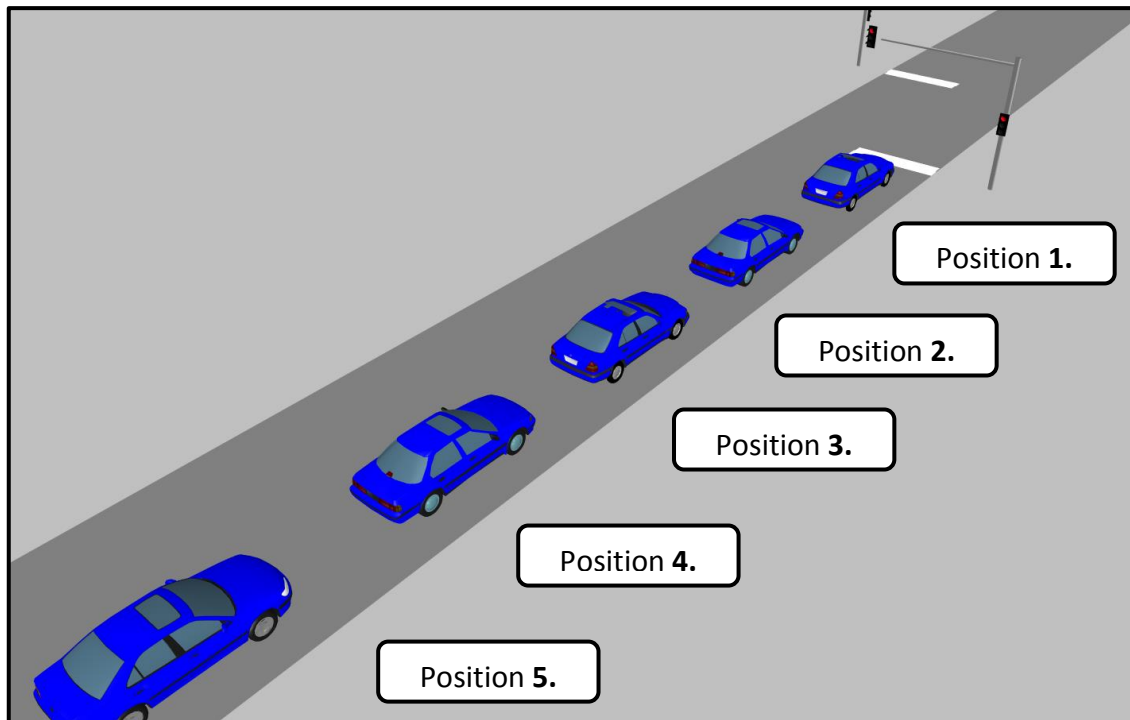


Abbildung 22. Fahrzeugpositionen bei der Zeitbedarfsbewertung

Zunächst wird bei der Auswertung der Videoaufnahmen der Zeitbedarfswert des ersten Fahrzeuges gemessen. Dieser entspricht der Zeit vom Beginn der Freigabezeit bis zum Überfahren der Haltelinie. Der Zeitbedarfswert der nachfolgenden Fahrzeuge wird durch die jeweilige Bruttozeitlücke der Fahrzeuge beschrieben. Es werden jedoch nur Läufe berücksichtigt, bei denen sich mehr als drei PKWs in enger Parkung befinden und kein LKW in der Warteschlange der Lichtsignalanlage steht. Des Weiteren werden nur die Zeitbedarfswerte für die Positionen in der Warteschlange bestimmt, die mehr als dreimal erhoben wurden. Folgende Zeitbedarfswerte pro Fahrzeugposition haben sich bei der Messung ergeben:

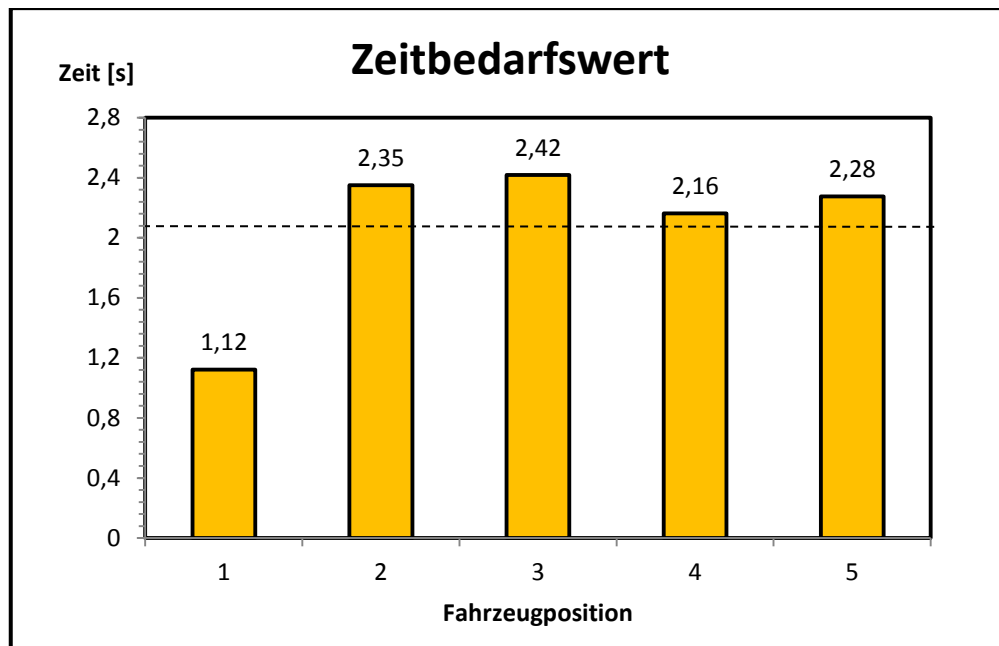


Abbildung 23. Zeitbedarfswert in Abhängigkeit zur Fahrzeugposition

Dies ergibt einen durchschnittlichen Zeitbedarfswert von $t_B = 2,07 \text{ [s]} / \text{Fahrzeug}$. In der Fachliteratur wird davon ausgegangen, dass sich der Zeitbedarfswert auf einer bestimmten Fahrzeugposition i auf einen konstanten Wert stabilisiert. In der Regel wird mit 1,8 bis 2 Sekunden pro Fahrzeug gerechnet. Der ermittelte Zeitbedarfswert scheint also plausibel.

Aus dem Zeitbedarfswert t_B kann die Sättigungsverkehrsstärke q_s bestimmt werden, die angibt, wie viele Fahrzeuge bei einer Grünstunde aus einer Signalzufahrt abfließen können [Bos07]:

$$q_s = \frac{3600}{t_B} \quad (3.1)$$

$$q_s = \frac{3600}{2,07} = 1739 \left[\frac{\text{KFZ}}{\text{h}} \right] \quad (3.2)$$

3.4 Lichtsignalanlagen

Zum Abschluss des Netzaufbaus, müssen LSA-Infrastruktur und LSA-Steuerungen ins Modell eingebunden werden. Grundlage hierfür bilden die verkehrstechnischen Unterlagen (VTU) des Tiefbauamtes Magdeburgs, die Lage- und Ausrüstungspläne, Zwischenzeitmatrizen, Phasenwechselschemen und Signalpläne beinhalten und für alle 5 Knotenpunkte vorliegen.

In der Ist-Situation auf der Halberstädter Straße sind alle 5 Knotenpunkte verkehrsabhängig geschaltet. Die Festzeitsteuerungen sind als Rückfallebene vorgesehen, falls die verkehrsabhängige Steuerung ausfällt. Zunächst werden alle 5 Knotenpunkte mit Festzeitsteuerung simuliert.

3.4.1 Festzeitsteuerung

Die Festzeitsteuerungen für die Lichtsignalanlagen werden aus den VTU entnommen und in VISSIM integriert. Signalgeber werden an den Haltelinien der Knotenpunkte angelegt und den jeweiligen Signalgruppen zugeordnet. Verkehrstechnische Besonderheiten, wie z. B. grüne Rechts-Abbiegepeile werden modelliert.

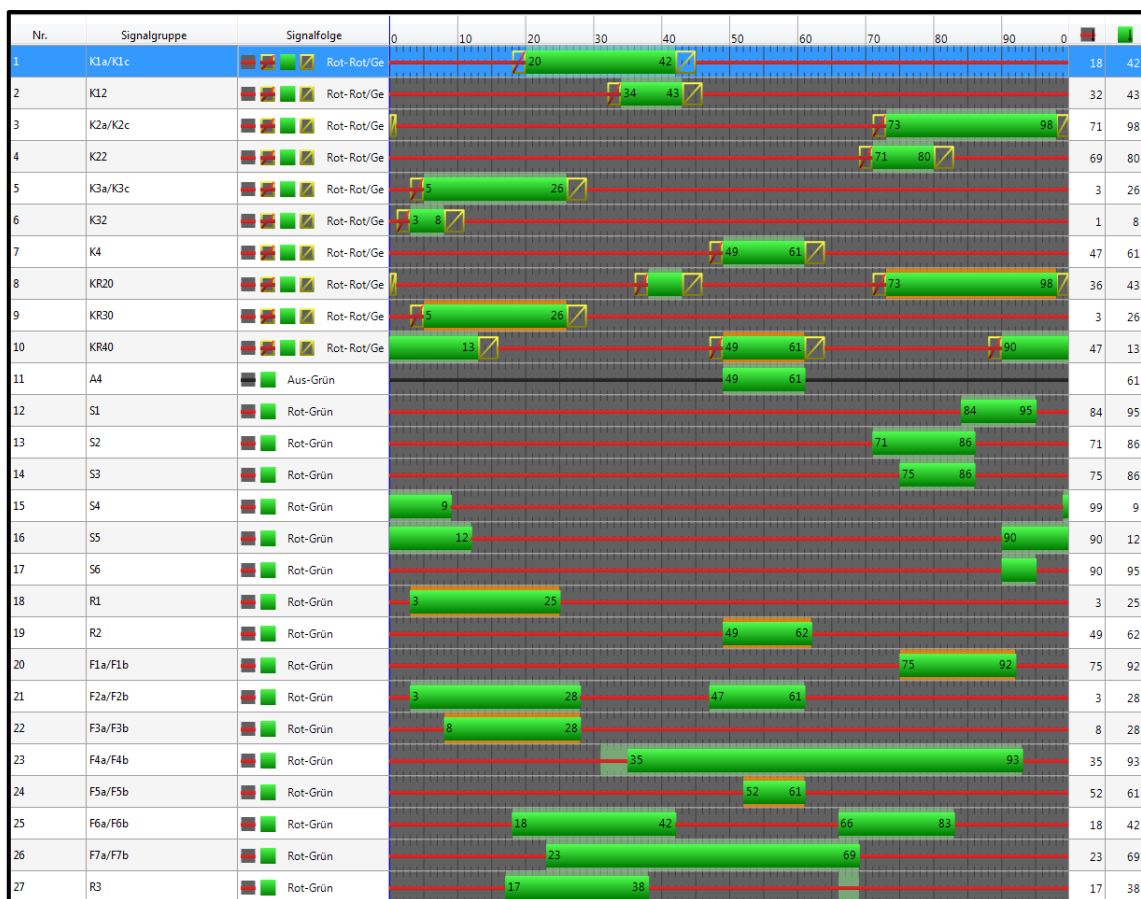


Abbildung 24. Festzeitsteuerung Südring

In der Darstellung der Festzeitsteuerung sind mögliche Freigabezeiten, die sich aus der Zwischenzeitmatrix ergeben, grün schraffiert. Zwischenzeitkonflikte sind rot markiert. Abbildung 24 zeigt die Festzeitsteuerung für den Knotenpunkt Südring mit einer Umlaufzeit $t_U=100s$. Es sind mehrere Zwischenzeitkonflikte an den Signalgruppen KR20, KR30 und KR40 zu erkennen. Diese sind mit einer Modellierungsbesonderheit in

VISSIM zu begründen. KR20, KR30 und KR40 sind Zusatzsignalgeber, die nur für den Rechtsabbiegeverkehr gelten. Sie sind zusätzlich neben normalen Hauptsignalgebern angebracht und werden nur dann geschaltet, wenn der Zusatzsignalgeber gesperrt ist, aber trotzdem ein konfliktfreies Einfahren der Rechtsabbieger in den Knotenpunkt möglich ist. Wenn die Zusatzsignalgeber nicht auf Freigabe geschaltet sind, werden sie ausgeschaltet.



Abbildung 25. Zusatzsignalgeber Südring

Um diese Besonderheit zu modellieren, muss in VISSIM ein Kompromiss eingegangen werden. Wenn der Hauptsignalgeber gesperrt ist, überfährt der Rechtsabbiegeverkehr die Haltelinie nicht, obwohl das Zusatzsignal auf Freigabe geschaltet ist. Daher werden für den Rechtsabbiegeverkehr die Freigabezeit des Hauptsignalgebers und die des Zusatzsignalgebers in einer Signalgruppe mit zwei Freigabezeiten zusammengefasst. Durch die Zusammenlegung werden Zwischenzeitkonflikte von der Software erkannt, da die Zwischenzeitberechnung jeweils für jede einzelne Signalgruppe durchgeführt wird.

Das Festzeitprogramm für die LSA Ambrosiusplatz wird abgeändert, da die VTU aus dem Jahre 1992 stammt. An der LSA liegt ein Straßenbahndepot, das zum Zeitpunkt der Planung noch in Betrieb war. Heute existiert es nicht mehr. Aus diesem Grund wird das Signalprogramm modifiziert, zwei Phasen für ein- und ausfahrende Straßenbahnen gestrichen und die Umlaufzeit angepasst.

3.4.2 Verkehrsabhängige Steuerung

Die Verkehrsabhängige Schaltung simuliert den Ist-Zustand auf der Halberstädter Straße. Zunächst war geplant, eine komplett verkehrsabhängige Steuerung zu implementieren, um den Ist-Zustand möglich genau abzubilden. Dies ist nicht möglich, da nur die LSA-Schaltungen der Knotenpunkte Brenneckestraße und Rottersdorfer Straße / Lemsdorfer Weg / Braunschweiger Straße von Siemens zur Verfügung gestellt wurden. Für die LSA Ambrosiusplatz wird deshalb - basierend auf den VTU - eine eigene Steuerungslogik entworfen. Für die anderen beiden Knotenpunkte Südring und

Bergstraße ist dies nicht möglich, da die Knotenpunkte zu groß sind und eine Umsetzung im zeitlichen Rahmen der Bachelorarbeit nicht zu realisieren ist. Die verkehrsabhängigen Schaltungen werden durch selbstentworfenen, optimierte Festzeitsteuerungen ersetzt. Unter Vollauslastung, wie sie beim Nachmittagsverkehr herrscht, laufen verkehrsabhängige Schaltungen annähernd wie ein Festzeitprogramm. Daher ist diese Annahme zulässig und bietet im Rahmen der Bachelorarbeit eine ausreichende Übereinstimmung.

LSA Ambrosiusplatz

Die Lichtsignalanlage Ambrosiusplatz ist eine Fußgängerlichtsignalanlage mit zwei Signalgruppen K1 und K2 für den MIV, zwei Signalgruppen S1 und S2 für den Straßenbahnverkehr und einer Signalgruppe F1 für Fußgänger. Die in den VTU noch vorgesehenen Signalgruppen S3 und S4 werden aus dem Programm entfernt. [vgl. Abb. 27] Die verkehrsabhängige Schaltung wird in VISSIM mit VAP realisiert. Ziel der Steuerung ist eine absolute Bevorrechtigung des ÖPNVs bei weitestgehender Aufrechterhaltung der Koordinierung des Kfz-Verkehrs.

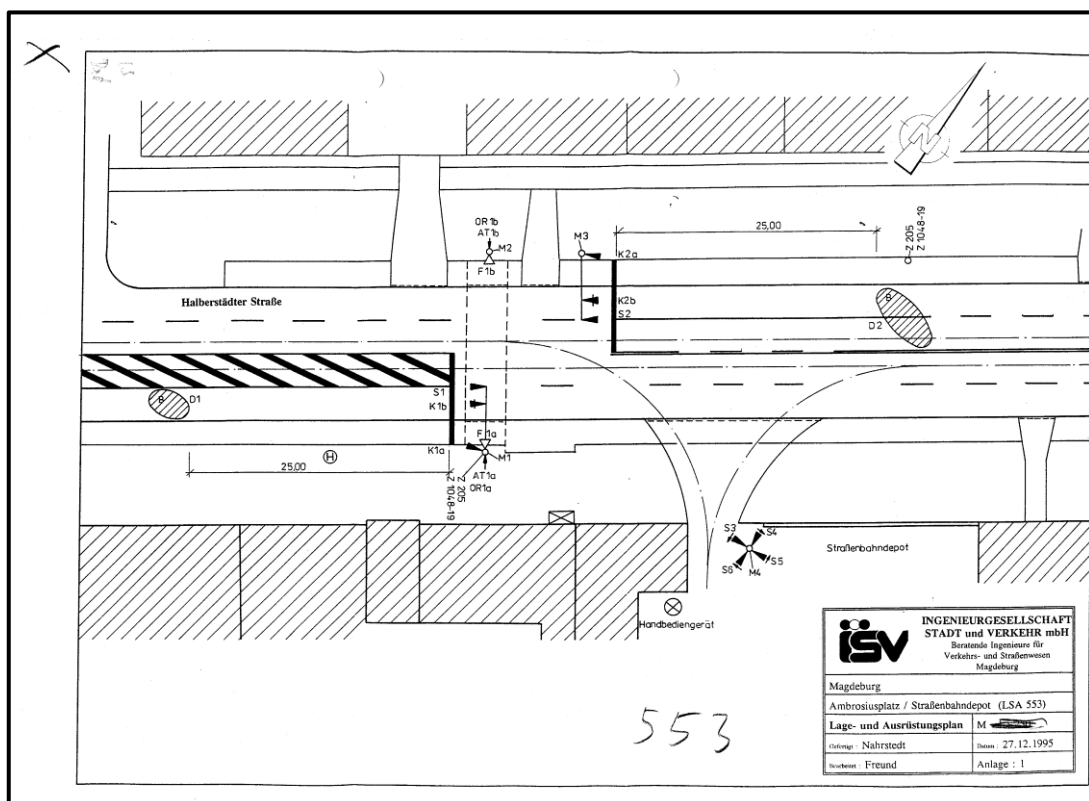


Abbildung 26. Lage- und Ausrüstungsplan LSA Ambrosiusplatz

Erfassungseinrichtungen

1. Für die Bemessung des Verkehrs auf der Halberstädter Straße sind in beiden Richtungen Infrarot-Detektoren DK5 und DK6 angebracht.
2. Die Fußgängerfurten sind mit Tastern DK3 und DK4 ausgestattet, An- und Abmeldebarken für den Linienverkehr der Straßenbahnlinien 1 und 10 und für die Buslinien 54 und 55 auf der Halberstädter Straße befinden sich an folgenden Standorten:
 - Straßenbahn und Linienbus (stadtauswärts):
 - Hauptanmeldung DK1 und DK12 320 m vor der Haltelinie bzw. Abmeldung an der LSA Rottersdorfer Straße / Lemsdorfer Weg / Braunschweiger Straße
 - Hauptabmeldung DK8 und DK81 nach Überfahren der Fußgängerfurt
 - Straßenbahn und Linienbus (stadteinwärts):
 - Hauptanmeldung DK2 und DK21 340 m vor der Haltelinie bzw. Abmeldung an der LSA Bergstraße
 - Hauptabmeldung DK7 und DK 71 nach Überfahren der Fußgängerfurt

Die Bemessung des Verkehrs sowie die An-und Abmeldung an die LSA werden in VISSIM mit einfachen Detektoren modelliert:

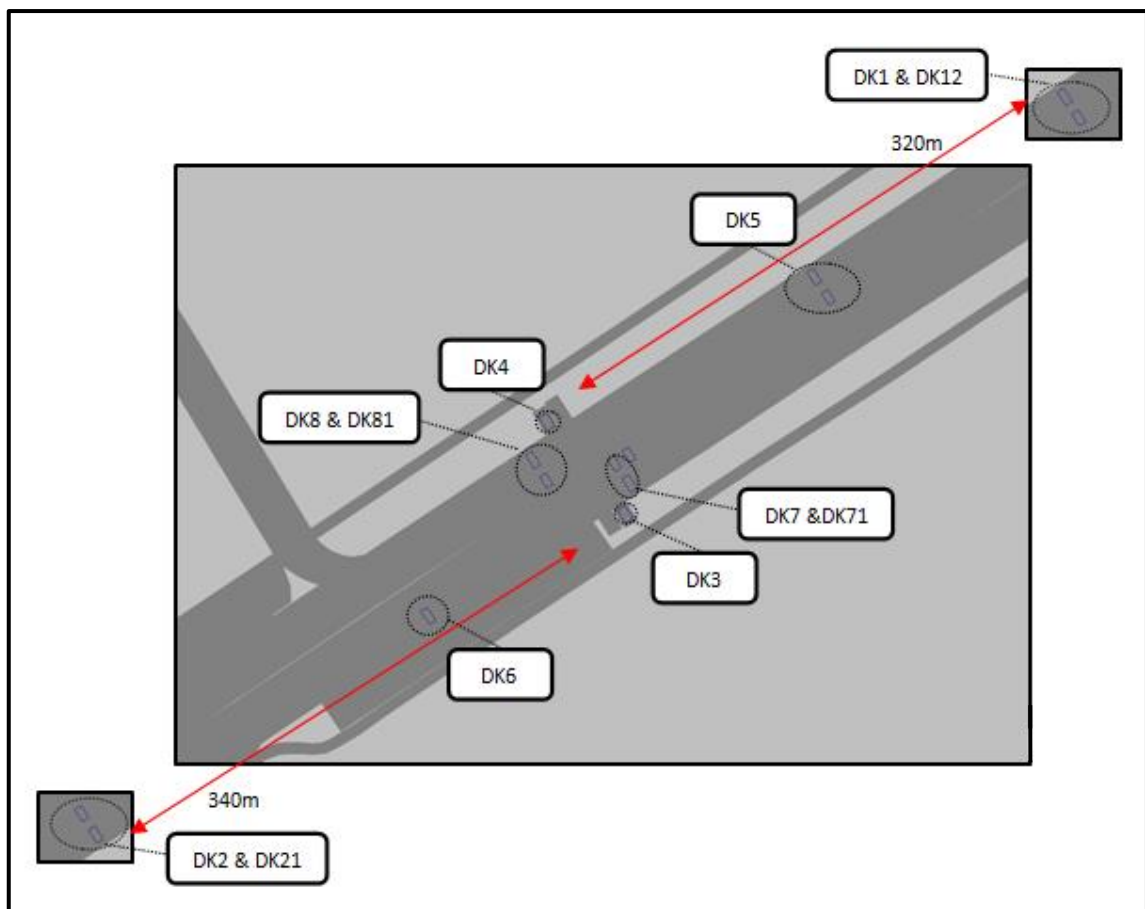


Abbildung 27. Detektoren LSA Ambrosiusplatz

Für die LSA werden zwei Phasen definiert. [vgl. Tabelle 4] Phase 1 – der Verkehrsfluss auf der Halberstädter Straße – wird als Standphase konzipiert, nur bei Bedarf, i. d. R. durch das Setzen einer Fußgängeraufforderung über einen Fußgängertaster DK3 bzw. DK4, wird in Phase 2 - die Fußgängerphase geschaltet. Beim Vorliegen dieser Aufforderung wird mit DK5 und DK6 geprüft, wie groß der Kfz-Verkehr auf der Halberstädter Straße bemessen ist. Das Schalten der Fußgängerphase erfolgt nur dann, wenn diese weder den Straßenbahn- noch den Linienbusverkehr behindert, also keine Anmeldung bei DK 11 und DK12 bzw. DK2 und DK21 vorliegt. Bei ungünstigem Aufeinandertreffen mehrerer ÖPNV-Linie würde dies zu extrem langen Wartezeiten für die Fußgänger führen, daher wird die Wartezeit der Fußgänger auf 60 Sekunden beschränkt.

Wenn sich eine Straßenbahn stadteinwärts fahrend über DK21 an der LSA anmeldet, wird vorher eine Fußgängerphase geschaltet, um Fahrgästen das Überqueren der Straße zu erleichtern. Diese Schaltung erfolgt nur dann, wenn Behinderungen des Straßenbahn- bzw. Busverkehrs und des KFZ-Verkehrs ausgeschlossen sind.

Phase	Freigabe für Signalgruppe
1	K1, K2, S1, S2
2	F1 ¹

Tabelle 4. Phaseneinteilung LSA Ambrosiusplatz

Folgende Bedingungen werden für einen Phasenübergang von der Phase 1 – Verkehrsfluss auf der Halberstädter Straße zur Phase 2 definiert:

- Maximale Fußgängerwartezeit 60 s
- Keine Anmeldung von Straßenbahnen oder Linienbussen an der Lichtsignalanlage
- Zeitabstand der Kraftfahrzeuge in beide Fahrtrichtungen > 3 s
- Zusatzbedingung: Wenn sich eine stadteinwärts fahrende Straßenbahn an die LSA anmeldet, wird geprüft, ob sich ein ÖPNV-Fahrzeug in Gegenrichtung an die LSA angemeldet hat.

Diese Bedingungen werden aufgestellt und in einem LSA-Ablaufdiagramm grafisch dargestellt [vgl. Anhang C].

LSA Südring

Der Knotenpunkt Südring stellt den größten und weitläufigsten Knotenpunkt der Halberstädter Straße dar. Die Verkehrsbelastung in allen Zufahrten ist zu jeder Tageszeit sehr hoch. Die Straßenbahnlinie 10 fährt in Längsrichtung auf der Halberstädter Straße. Die Straßenbahnlinien 1 und 5 verkehren abbiegend zwischen dem Westring und der Zufahrt Halberstädter Straße Nord (Linie 5) bzw. der Zufahrt Halberstädter Straße Süd (Linie 10). Busse fahren linienmäßig in Geradeausrichtung entlang des Westring und der Wienerstraße sowie abbiegend zwischen der Wiener

¹ Zusätzlich kommt in den VTU noch die Signalgruppe OR1 vor, die als Orientierungston für Blinde eingesetzt wird. Diese Signalgruppe wird in der Simulation nicht umgesetzt.

Straße und der Zufahrt Halberstädter Straße Süd. Zudem treten teilweise beachtliche Fußgängerströme auf allen Fußgängerfurten auf.

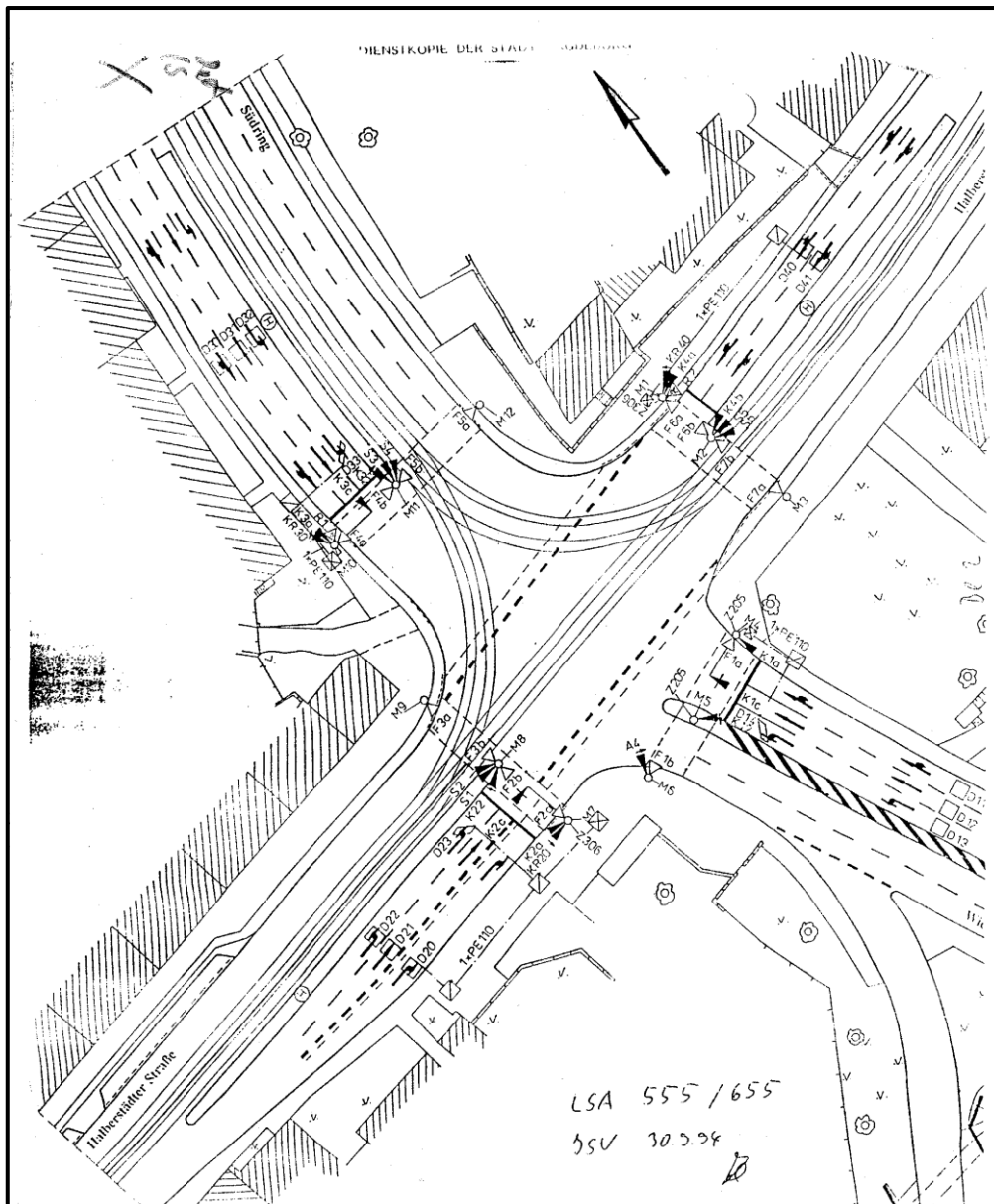


Abbildung 28. Lage- und Ausrüstungsplan LSA Südring

Für die Lichtsignalanlage soll eine neue, optimierte Festzeitsteuerung entworfen werden. Zwischenzeitmatrix und Phasenfolgeplan werden aus den VTU entnommen. Die Berechnungen werden mit der Software SITRAFFIC von Siemens durchgeführt. SITRAFFIC errechnet eine optimale Umlaufzeit von $t_U = 120$ s. Als Richtwerte für die Umlaufzeit gelten laut [Fsv10]:

- $t_{U \min} = 30$ s
- $t_{U \max} = 90$ (120) s

Größere Umlaufzeiten als 90 s sollten in der Regel vermieden werden; die maximale Umlaufzeit beträgt 120 s. Hohe Umlaufzeiten führen zu einer Steigerung der Kapazität, aber auch zu einer deutlichen Erhöhung der Wartezeiten, vor allem für die nicht motorisierten Verkehrsteilnehmer. Aus diesem Grund wird die Umlaufzeit $t_U = 100$ s als Kompromiss gewählt.

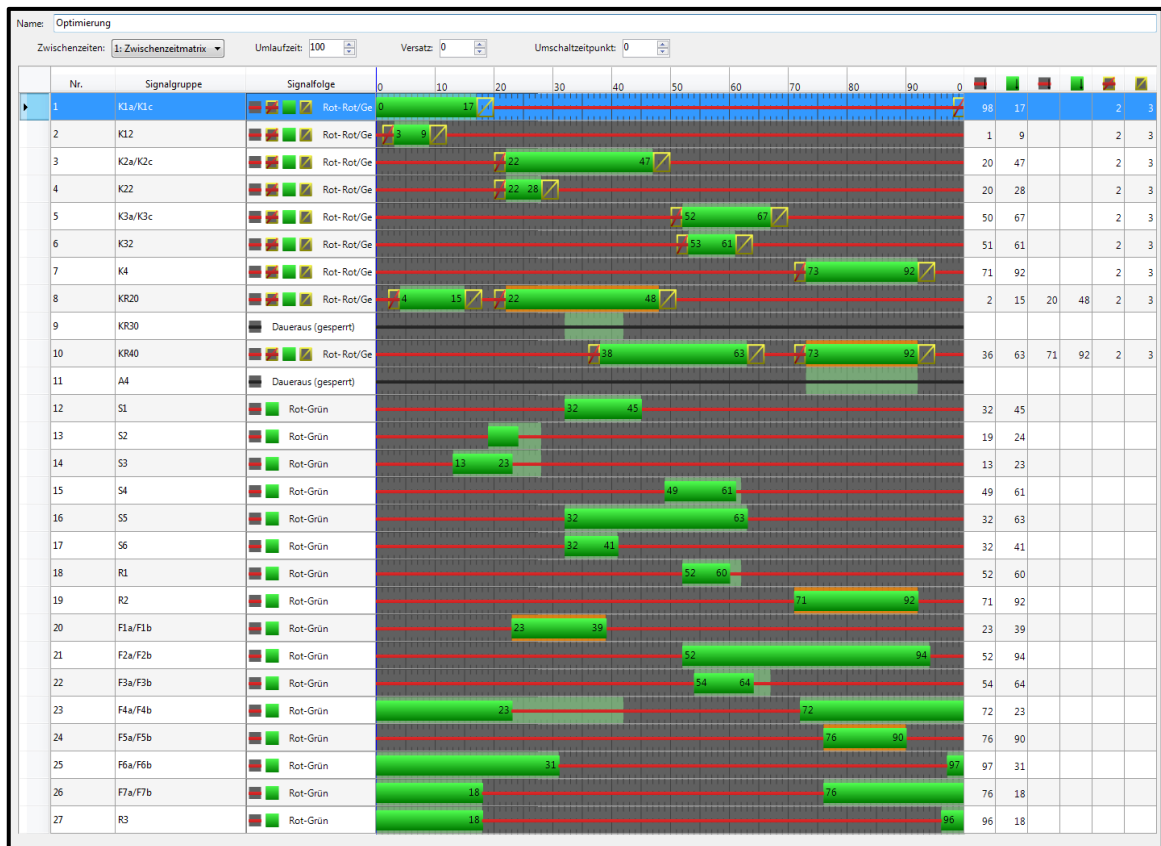


Abbildung 29. Signalplan optimierte Festzeitsteuerung LSA Südring

LSA Bergstraße

Die stärksten Verkehrsströme treten in Längsrichtung auf der Halberstädter Straße auf. Die Verkehrsströme aus den Nebenrichtungen sind eher gering. Den Knotenpunkt durchfahren die zwei Straßenbahnlinien 1 bzw. 10 sowie mehrere Buslinien.

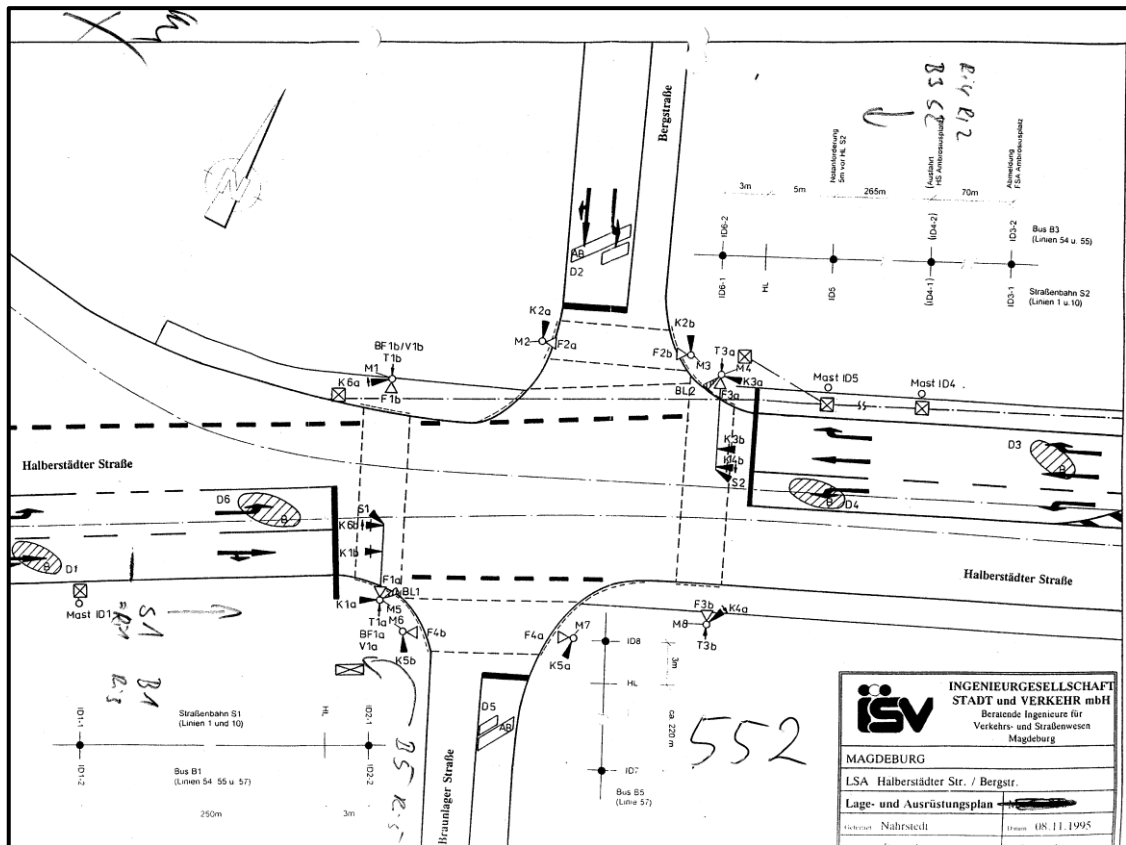


Abbildung 30. Lage- und Ausrüstungsplan LSA Bergstraße

Für diese Lichtsignalanlage soll ein neues Festzeitprogramm berechnet werden. Der Phasenfolgeplan wird aus den VTU übernommen. Um weitere Optimierungspotenziale aufzudecken, wird eine Zwischenzeitberechnung für den Knotenpunkt durchgeführt und eine neue Zwischenzeitmatrix erstellt.

Zwischenzeitberechnung

„Die Zwischenzeit $[t_z]$ ist die Zeitdauer zwischen dem Ende der Freigabezeit eines Verkehrsstroms und dem Beginn der Freigabezeit eines anschließend freigegebenen nicht oder bedingt verträglichen Verkehrsstroms“ [Fsv10] und wird aus der Überfahrzeit $t_{\bar{u}}$, der Räumzeit t_r und der Einfahrzeit t_e gebildet:

$$t_z = t_{\bar{u}} + t_r - t_e \quad (3.3)$$

Dabei müssen alle möglichen Kombinationen nichtverträglicher Verkehrsströme beachtet werden. Berechnete Zwischenzeiten werden auf die volle Sekunde aufgerundet. Die Überfahr- und Räumzeiten werden anhand der sechs in der RiLSA 2010 unterschiedenen Fälle berechnet:

- Fall 1: Geradeaus fahrende Kraftfahrzeuge räumen
- Fall 2: Abbiegende Kraftfahrzeuge räumen
- Fall 3: Straßenbahnen räumen – ohne Halt vor dem Knotenpunkt
- Fall 4: ÖPNV-Fahrzeuge räumen – bei Halt vor Knotenpunkt
- Fall 5: Radfahrer räumen
- Fall 6: Fußgänger räumen

Folgende Ausgangsdaten werden angenommen:

$t_{(rot-gelb)}$	=	2 s
t_{gelb}	=	3 s
$V_{Räumen, Fußgänger}$	=	1,2 m/s
$V_{Räumen, Radfahrer}$	=	4,0 m/s
$V_{Zulässig}$	=	50 km/h

Einfahr- und Räumwege werden anhand der modellierten Kreuzung in VISSIM bestimmt und zu einer Konfliktpunktabelle zusammengestellt [vgl. Anhang D]. Die maßgebenden Zwischenzeiten werden in einer Zwischenzeitmatrix [vgl. Abb. 31] zusammengefasst. Rot markiert sind Zwischenzeiten, die im Vergleich zur Zwischenzeitmatrix aus den VTU [vgl. Anhang E] höher ausgefallen sind. Keine Markierungen haben gleiche Zwischenzeiten. Grün markierte Zwischenzeiten weisen ein Optimierungspotenzial gegenüber der alten Zwischenzeitberechnung auf. Die ermittelten Zwischenzeiten sind durch wiederholte Beobachtungen zu überprüfen, insbesondere bei Situationen, in denen der Linksverkehr durch den Gegenverkehr am Abbiegen gehindert wird. Diese Situation tritt z. B. dann auf, wenn die Signalgruppe K2 räumt und die Signalgruppe K5 einfährt. Die Räum-und Einfahrwege der öffentlichen Verkehrsmittel erfordern eine zusätzlich Überprüfung.

Zwischenzeitenmatrix Bergstraße															
Räumend	Einfahrend														
Signalgruppe	K1	K2	K3	K4	K5	K6	S1	S2	F1	F2	F3	F4	OR1	BL1	BL2
K1		5	-	3	5	-	-	-	5	-	7	-	-	-	-
K2	8		5	6	-	7	6	5	-	4	-	7	-	-	-
K3	-	5		-	5	4	-	2	7	-	5	-	-	-	-
K4	9	5	-		6	5	5	-	-	-	4	8	-	-	-
K5	4	-	8	5		4	3	4	-	8	-	5	-	-	-
K6	-	7	9	5	5		-	4	4	11	-	-	-	-	-
S1	-	7	-	6	6	-		-	4	-	7	-	-	-	-
S2	-	6	6	-	6	6	-		9	-	7	-	-	-	-
F1	14	-	10	-	-	11	10	6		-	-	-	-	-	-
F2	-	9	-	-	5	5	-	-	-		-	-	-	-	-
F3	11	-	15	9	-	-	7	9	-	-		-	-	-	-
F4	-	5	-	5	7	-	-	-	-	-	-		-	-	-
OR1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-
BL1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
BL2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
min t grün	10	5	10	5	5	5	5	5	8	6	8	6	10	-	-
Rot / Gelb	2	2	2	2	2	2	(6) T	-	-	-	-	-	-	-	-
Gelb	3	3	3	3	3	3	-	5	-	-	-	-	-	-	-

Abbildung 31. Zwischenzeitmatrix LSA Bergstraße

Mit SITRAFFIC wird folgenden Signalplan errechnet:

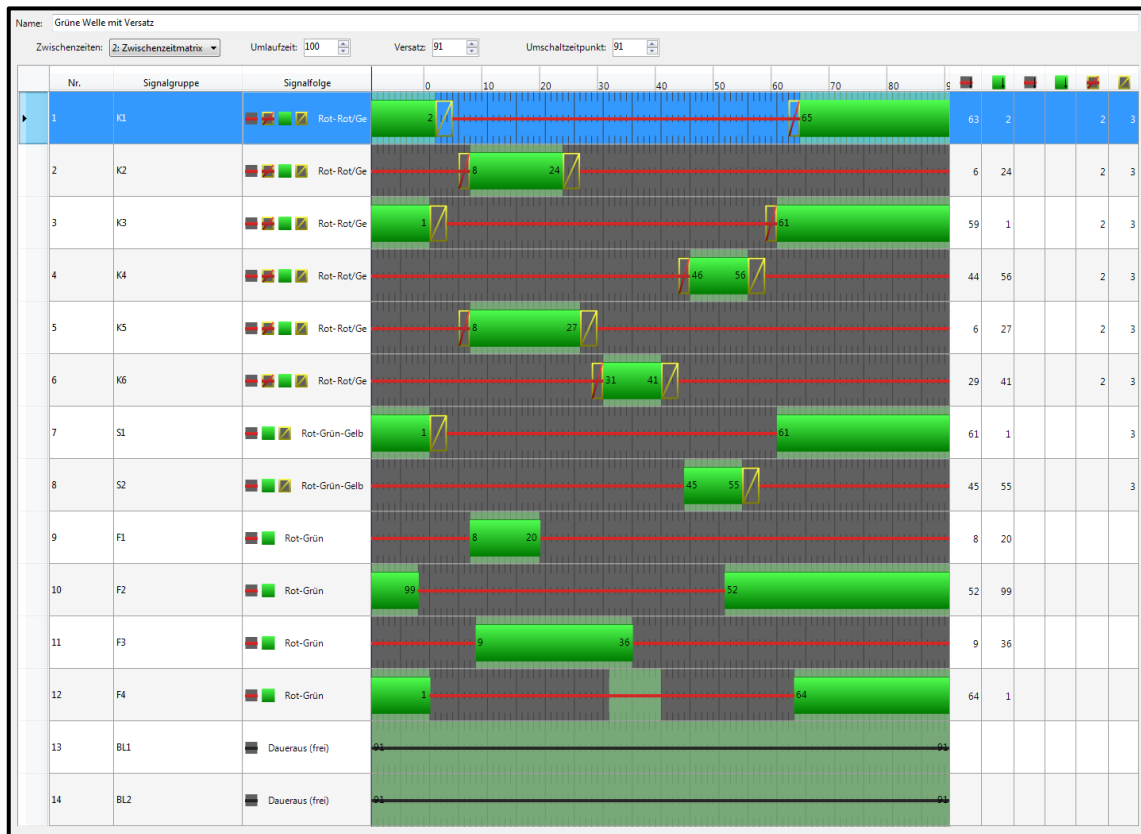


Abbildung 32. Signalplan optimierte Festzeitsteuerung LSA Bergstraße

3.4.3 Koordinierung

Für das dritte Simulationsszenario soll eine stadtauswärts gerichtete Koordinierung der Lichtsignalanlagen für die Halberstädter Straße eingerichtet werden. Eine Koordinierung wird umgangssprachlich als „Grüne Welle“ bezeichnet. Ziel der Koordinierung ist es, die hintereinanderliegende Signalisierungsquerschnitte auf der Halberstädter Straße stadtauswärts durch geeignete Zeitversätze, die durch die angenommene Geschwindigkeit der Fahrzeuge – der sog. Progressionsgeschwindigkeit – bestimmt sind, genau aufeinander abzustimmen. Es soll erreicht werden, dass möglichst viele Fahrzeuge den Straßenzug ohne Halt durchfahren können, um so die Reisezeit aller Kfz auf der Halberstädter Straße zu verringern. Die Reduzierung der Halte führt zu einer deutlichen Verringerung des Kraftstoffverbrauchs bzw. der Schadstoff- und Lärmemission.

Laut RiLSA 2010 müssen folgende bauliche Voraussetzungen gegeben sein [Fsv10]:

- Mehr als ein durchgehender Fahrstreifen
- Beeinträchtigungen der Qualität des Verkehrsablaufes durch parkende bzw. haltende Fahrzeuge soll vermieden werden
- Für Abbieger sollten im Knotenpunktbereich Abbiegestreifen vorgesehen werden, um den durchgehenden Verkehr nicht zu behindern
- Fußgängerüberwege (Zeichen 293 der StVO) sind an Straßen mit Koordinierung nicht zulässig
- Die maximale Entfernung zwischen Lichtsignalanlagen sollte 750 bis maximal 1000 m nicht überschreiten, da sonst eine Auflösung des Fahrzeugpulses zu erwarten ist

Die Halberstädter Straße erfüllt diese baulichen Voraussetzungen. Der Knotenpunkt Abstand beträgt nur maximal 817 m, es sind keine Fußgängerüberwege vorhanden. Sie ist zum größten Teil zweispurig ausgebaut, nur im letzten Abschnitt zwischen den Knotenpunkten Bergstraße und Brenneckestraße verläuft sie einspurig. Nach [Bos207] besitzt die These, dass eine zweispurig ausgebaute Straße für eine Koordinierung notwendig ist, heute keine Bedeutung mehr. Eine einstreifige Führung hat sich als nicht negativer erwiesen. Bei zweistreifigen Fahrspuren können langsamere Fahrzeuge überholt werden, was zu einer geringeren Akzeptanz der Progressionsgeschwindigkeit führt. Dies wiederum führt zu einer Pulkauflösung der Fahrzeuget. Beiden Effekte kompensieren sich, sodass die Koordinierung zwischen den Knotenpunkten Bergstraße und Brenneckestraße als zulässig zu betrachten ist.

Parkende Fahrzeuge haben keinen großen Einfluss auf die Qualität des Verkehrsablaufes, stadtauswärts sind nur wenige Parkplätze am Fahrbahnrand vorhanden.

An den Knotenpunkten Südring, Bergstraße und Brenneckestraße sind für die Linksabbieger auf der Hauptrichtung separate Abbiegespuren vorhanden. Einzig beim Knotenpunkt Rottersdorfer Straße / Lemsdorfer Weg / Braunschweiger Straße werden die Linksabbieger von der Halberstädter Straße in den Lemsdorfer Weg nicht separat geführt. Der Geradeausverkehr wird auf beiden Spuren geführt, wenn die bedingt verträglich geschalteten Linksabbieger auf die Einfahrt in den Lemsdorfer Weg warten

müssen, kann der Geradeausverkehr diese auf der rechten Spur überholen. Zusammen mit dem sehr geringen Linksabbiegeranteil ist diese Konstellation nicht optimal, jedoch für eine Koordinierung als ausreichend zu betrachten.

Zwei Einschränkungen müssen in der Simulation gemacht werden:

1. LSA Ambrosiusplatz wird nicht betrachtet.

Eine Fußgänger-LSA in der Koordinierung hat einen großen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit. Bei jeder Fußgängeranforderung wird die Koordinierung unterbrochen, der Fahrzeugpulk kommt zum Stehen und erreicht den nächsten Knotenpunkt an der Bergstraße nicht mehr innerhalb des Grünbandes.

2. Die Straßenbahnlinien 1 und 10 fahren nicht.

Eine Koordinierung ergibt nur dann einen Sinn, wenn keine Straßenbahnen den Straßenzug befahren. Da die Straßenbahnen auf der Straße halten und es keine separaten Haltestellen gibt, müssen die Kfz hinter diesen haltenden Straßenbahnen warten, bis der Fahrgastwechsel vollzogen ist. Dies führt zu einer Auflösung der Koordinierung. Aus diesem Grund wird nur die Situation simuliert, wenn sich *keine* Straßenbahnen auf der Halberstädter Straße befinden.

Grundsätzlich soll – basierend auf den vereinfachten Annahmen – zunächst geprüft werden, ob die Möglichkeit einer Koordinierung auf der Halberstädter Straße besteht und wie diese umgesetzt werden könnte. Aufbauend auf diesen Überlegungen können später weitere Umsetzungsmöglichkeiten abgeleitet werden.

Entwurf einer Grünen Welle

Für eine Koordinierung müssen alle Signalanlagen mit der gleichen Umlaufzeit laufen, um eine Verschiebung des Grünbandes zu vermeiden. Der Knotenpunkt mit der größten Umlaufzeit ist maßgebend. Kritischer Knotenpunkt auf der Halberstädter Straße ist der Knotenpunkt Südring mit einer Umlaufzeit von $t_u = 100$ s. Die Signalprogramme der anderen Knotenpunkte müssen angepasst werden. Für die LSA an der Rottersdorfer Straße / Lemsdorfer Weg / Braunschweiger Straße wird die Festzeitsteuerung für die Nachmittagsspitze aus den VTU übernommen, um die innere Koordinierung der Signalisierungsabschnitte Braunschweiger Straße, Lemsdorfer Weg

und Rottersdorfer Straße zu gewährleisten. [Fsv10] Einzige Veränderung ist die Erhöhung der Umlaufzeit von 90 auf 100 s und die damit verbundene Dehnung des Signalprogramms.

Das Signalprogramm für die Bergstraße wird aus der optimierten Version übernommen, da die Umlaufzeit auch hier bei 100 s liegt.

Für die LSA Brenneckestraße wird ein Signalprogramm mit der Umlaufzeit von 100 s entworfen:

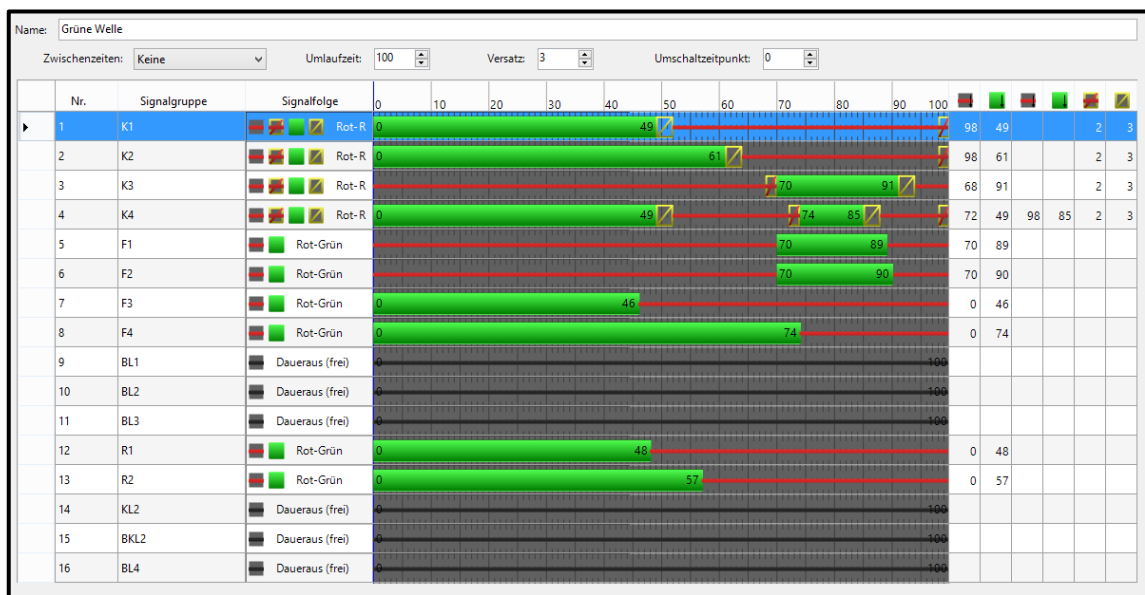


Abbildung 33. Signalplan Koordination LSA Brenneckestraße

Die Progressionsgeschwindigkeit V_P wird als $0,9 * V_{zulässig} = 45 \text{ km/h}$ angenommen.

Für die Versatzzeiten Δt_V zweier Knotenpunkte i und j mit dem Knotenpunktabstand Δx (gemessen an den Haltelinien) ergibt sich:

$$\Delta t_V(i \rightarrow j) = \frac{\Delta x (i \rightarrow j)}{V_P(i \rightarrow j)} \quad (3.4)$$

Die Versatzzeiten zwischen allen Knotenpunkten sind in Tabelle 5 aufgeführt:

Knotenpunkt i	Knotenpunkt j	Knotenpunkt- abstand Δx	Progressions- geschwindigkeit V_p	Versatzzeit Δt_v
Südring	Rottersdorfer Str./ Lemsdorfer Weg / Braunschweiger Str.	282 m	45 km/h	23 s
Rottersdorfer Str./ Lemsdorfer Weg / Braunschweiger Str.	Bergstraße	817 m	45km/h	65 s
Bergstraße	Brennecke- straße	528 m	45 km/h	42 s

Tabelle 5. Versatzzeiten bei der Koordinierung

Das Grünband kann anhand der ermittelten bzw. berechneten Daten nun in einem Zeit-Weg-Diagramm dargestellt werden [Vgl. Anhang F]:

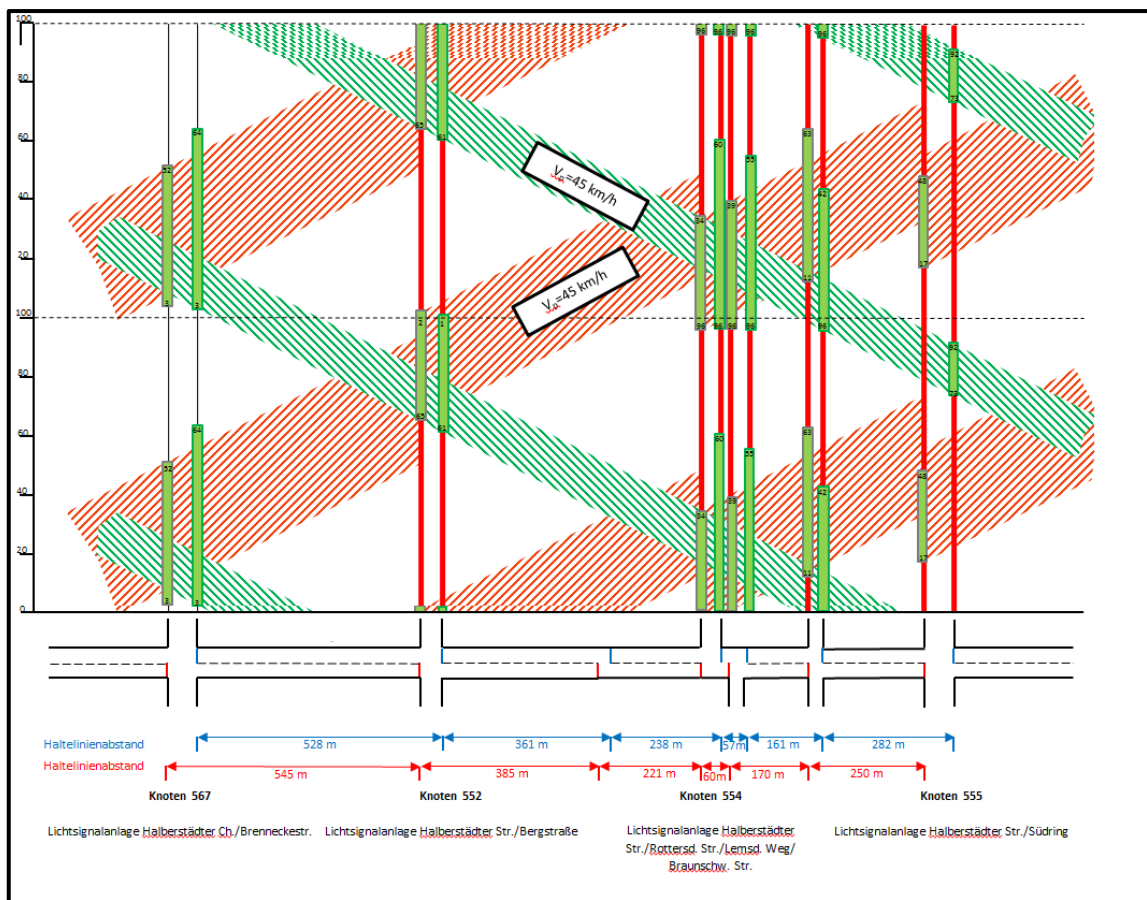


Abbildung 34. Zeit-Weg-Diagramm der Koordination

Stadtäuswärts fahrend ergibt sich so ein Grünband mit einer Breite von 19 s. Aufgrund des unregelmäßigen Knotenpunktabstandes ist eine Koordination nur in eine Richtung möglich.

3.5 Messquerschnitte und zu erhebene Qualitätskenngrößen

In VISSIM können eine Vielzahl unterschiedlicher Auswertungsdateien erhoben werden. Für die Auswertung und Beurteilung der drei unterschiedlichen Szenarien sind mehrere Qualitätskenngrößen zu erheben. Wichtigstes Auswertungsmerkmal ist die durchschnittliche Anzahl an Halten im Netz, das in VISSIM über eine Netzanalyse ausgewertet werden kann. Zur Bewertung der einzelnen Knotenpunkte wird eine Auswertung nach dem HBS vorgenommen. Diese erfolgt auf dem Prinzip der

Qualitätsstufeneinteilung (LOS – Level of Service), das aus dem amerikanischen Highway Capacity Manual (HCM) übernommen wurde.

QSV	Zulässige mittlere Wartezeit w [s]				Prozentsatz der Durchfahrten ohne Halt [%]
	straßen-gebundener ÖPNV	Fahrrad-verkehr	Fußgänger-verkehr ¹⁾	Kraftfahrzeug-verkehr (nicht koordinierte Zufahrten)	Kraftfahrzeug-verkehr (koordinierte Zufahrten)
A	≤ 5	≤ 15	≤ 15	≤ 20	≥ 95
B	≤ 15	≤ 25	≤ 20	≤ 35	≥ 85
C	≤ 25	≤ 35	≤ 25	≤ 50	≥ 75
D	≤ 40	≤ 45	≤ 30	≤ 70	≥ 65
E	≤ 60	≤ 60	≤ 35	≤ 100	≥ 50
F	> 60	> 60	> 35	> 100	< 50

1) Zuschlag von 5 s bei Überquerung von mehreren Furten
Koordinierung unwirksam

Tabelle 6. Grenzwerte für die Qualitätsstufen der verschiedenen Verkehrsteilnehmergruppen und Verkehrsarten [Fsv05]

Beim HBS wird die Dauer des Wartevorgangs als wichtigstes Kriterium zur Bewertung des Verkehrsablauf angesehen. Aus diesem Grund wird beim Kraftfahrzeugverkehr bei nicht koordinierten Zufahrten die Qualität des Verkehrsablaufs nach der Größe der mittleren Wartezeit beurteilt. Bei koordinierten Zufahrten wird die Qualität anhand des Durchsatzes der erreichten Durchfahrten oder nach Anzahl der Halte bewertet. [Fsv05] In VISSIM können diese Qualitätsstufen direkt berechnet werden.

Aus zwei Gründen kann es zu systematischen Abweichungen zwischen den Simulationsergebnissen und der Berechnung nach dem HBS kommen. Die im HBS dargestellten Modellvorstellungen sind abstrakt, um möglichst vielen Situationen gerecht zu werden und die Allgemeingültigkeit aufrecht zu erhalten. In VISSIM kann dagegen genau auf lokale Besonderheiten eingegangen werden. Zusätzlich beziehen sich die Auswertungsgrößen wie z.B. die mittlere Wartezeit auf einen lange andauernden, stationären Fall. So werden die Wartezeitanteile aller Fahrzeuge, die den Knoten passieren, analytisch berücksichtigt. In der Simulation hingegen ist der Erfassungsbereich auf die modellierten Reise- bzw. Verlustzeiten begrenzt. Im Überlastungsfall steigt dadurch die Berechnung des HBS steiler an als die der Simulation. [Ptv11]

Zur Kalibrierung des Modells [vgl. Kapitel 4] werden Reisezeit- sowie Querschnittsmessungen in der Simulation durchgeführt. [vgl. Abb. 35]

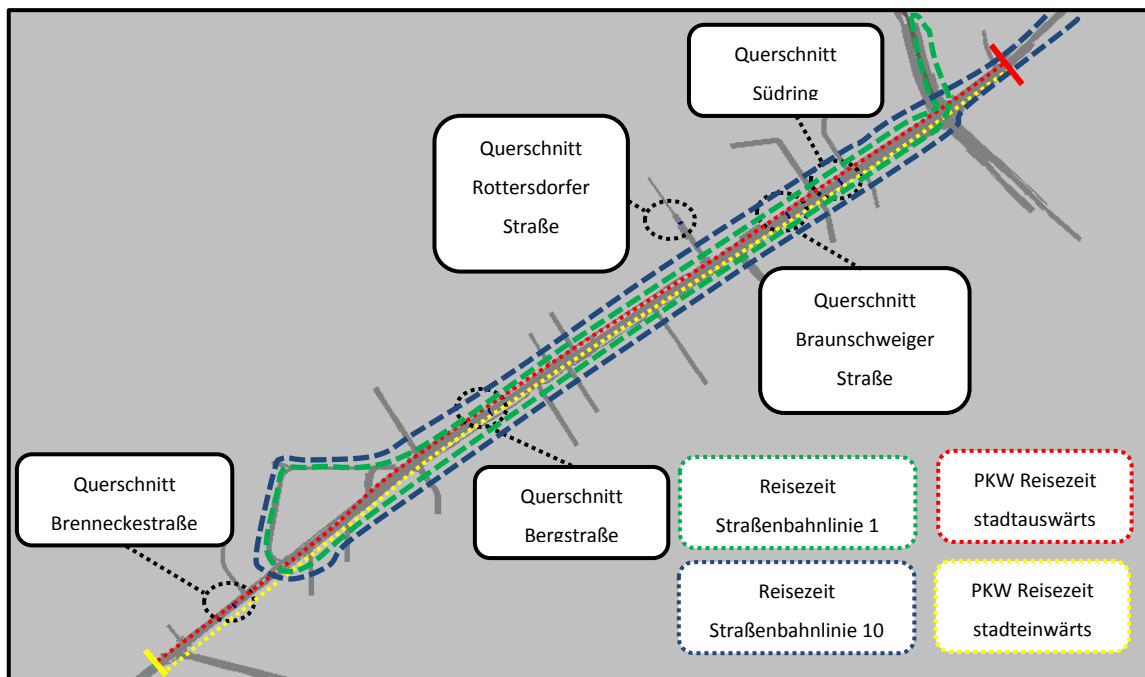


Abbildung 35. Reisezeiten und Messquerschnitte in VISSIM

An jeder Lichtsignalanlage werden auf jeder Haltelinie Staumesser platziert. Um die Emissionen auf dem Straßenzug auszuwerten, werden in VISSIM einzelne Knotenpunkte definiert. Über eine Knotenpunktanalyse kann VISSIM spezifische Daten, wie z. B. den Verbrauch oder die lokale Schadstoffemission für einen definierten Bereich berechnen.

4 Kalibrierung und Validierung des Modells

Um die Übertragbarkeit der Simulationsergebnisse auf die Realität zu gewährleisten, ist es notwendig, die Simulation zu kalibrieren und anschließend zu validieren. Dieser Schritt ist besonders wichtig, da so sichergestellt wird, dass die in der Simulation getroffenen Aussagen auf die Realität übertragbar sind. *„The objective of model calibration was to obtain the best match possible between model performance estimates and the field measurements of performance.“* [Col06] Simulationsparameter müssen so angepasst werden, dass das Modell möglichst genau die Realität abbildet. Hierfür werden die Simulationsdaten mit empirischen Daten verglichen und anhand vorher festgelegter Parameter so verändert, dass die Abweichung zwischen den simulierten und den empirisch erhobenen Werten minimal ist.

„Die Validierung des Modells soll den Nachweis erbringen, dass das Modell nicht nur für diesen einen betrachteten Messdatensatz hinreichende Ergebnisse liefert, sondern auch auf vergleichbare Situationen übertragbar ist.“ [Det10] Mit dem kalibrierten Modell werden Simulationsläufe durchgeführt und die Ergebnisse mit einem zweiten empirisch erhobenen Datensatz verglichen. Weichen die simulierten Werte nicht über ein zuvor definiertes Fehlermaß hinaus ab, kann das Modell als valide betrachtet werden. [vgl. Abb. 36]

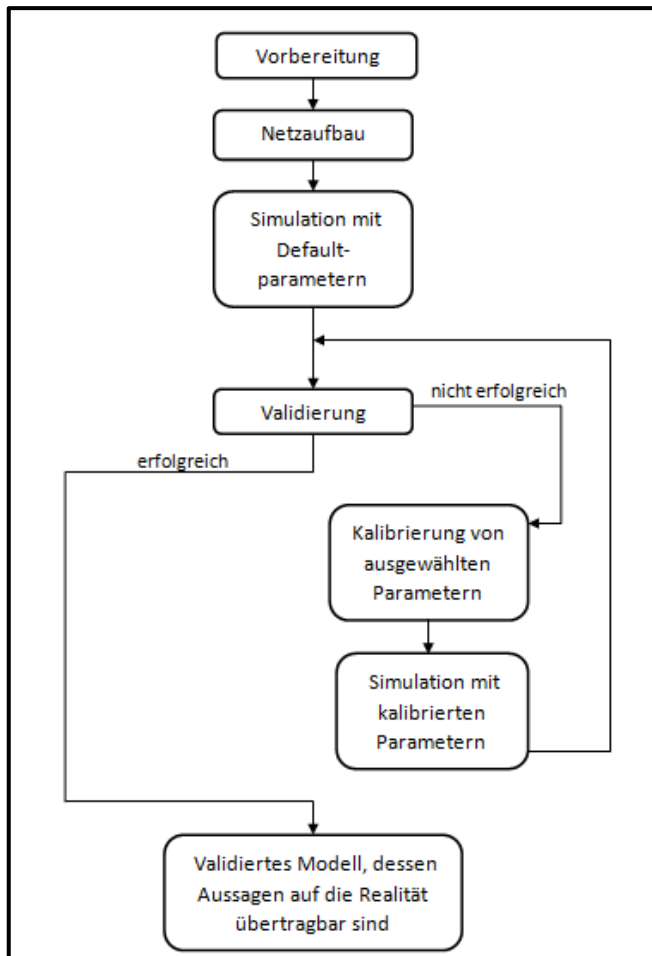


Abbildung 36. Ablaufdiagramm der Kalibrierung und Validierung eines Simulationsmodells

4.1 Kalibrierung

Mehrere Simulationsstudien, wie z. B. die Diplomarbeit [Kuh12] kommen zu dem Ergebnis, dass „... eine Veränderung der Fahrzeugfolgeparameter nur eingeschränkt sinnvoll [ist], die Zeitlückenannahme der Konfliktflächen anzupassen [ist] [und die] Beurteilung der Simulationsgenauigkeit über die mittlere Fehlerabweichung (ME) der Zeitreihen [erfolgen sollte].“ [Kuh12] Die Arbeit [Fis07] leitet ähnliche Empfehlungen ab. „Die Simulation mit Defaultparametern ergibt ganz ähnliche Resultate wie die Simulation mit realen Parametern. Vor allem bei der Leistungsfähigkeit [...] lässt sich praktisch kein Unterschied feststellen. [...] Die Defaultparameter ergeben realitätsnahe Resultate.“ [Fis07]

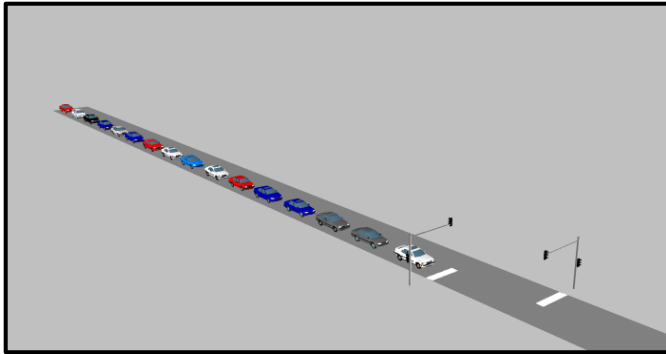


Abbildung 37. Kalibrierung Zeitbedarfswert in VISSIM

Zunächst werden die Beschleunigungswerte der PKW anhand des erhobenen Zeitbedarfswertes neu angepasst. Hierfür wird eine externe Testsimulation erstellt, um die Beschleunigung interaktiv zu bestimmen. Auf der Teststrecke

wird eine LSA installiert, die mit einer Freigabezeit von 20 s geschaltet wird. Für die Anzahl der Fahrzeuge, die bei einem Zeitbedarfswert $t_B = 2,07$ s die LSA überqueren können, gilt:

$$n = \frac{t_F}{t_B} \quad (4.1)$$

Mit:

n = Fahrzeuganzahl [Fzg.]
 t_F = Freigabezeit [s]
 t_B = Zeitbedarfswert [s]

$$n = \frac{20s}{2,07} = 9,66 \frac{\text{Fzg}}{\text{Freigabezeit}} \quad (4.2)$$

Die Anfahrtsbeschleunigung muss so kalibriert werden, dass ca. 10 Kfz pro Freigabezeit die LSA überfahren können. Fahrzeuge, die bei gelb fahren, werden nicht betrachtet.

Es wird eine Simulation mit der Defaultbeschleunigung [vgl. Abb. 38] durchgeführt.

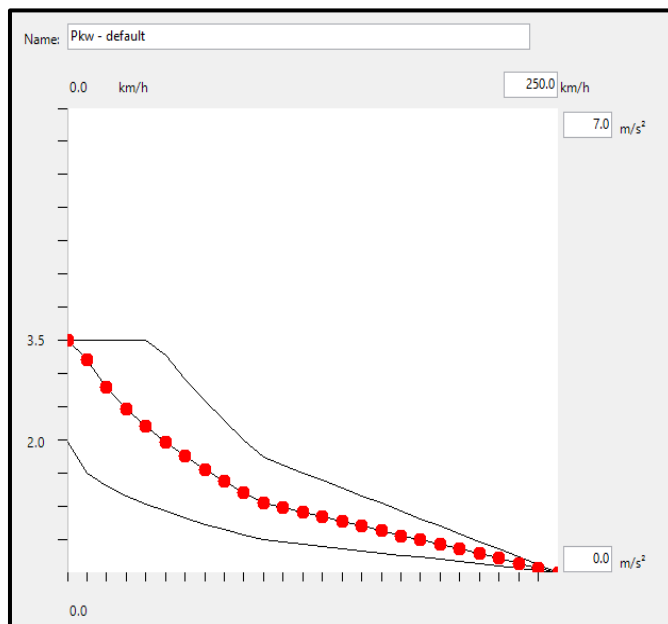


Abbildung 38. Default Wunschbeschleunigung in VISSIM

Hierbei passieren ca. 12 Fahrzeuge pro Freigabezeit den Knotenpunkt. Die Wunschbeschleunigung für PKW muss deshalb verringert werden. Durch Probieren wird die Wunschbeschleunigung so lange reduziert, bis nur noch 10 KFZ die LSA bei 20 s Freigabezeit überqueren. Die in Abb. 39 dargestellte Wunschbeschleunigung liefert die besten Ergebnisse:

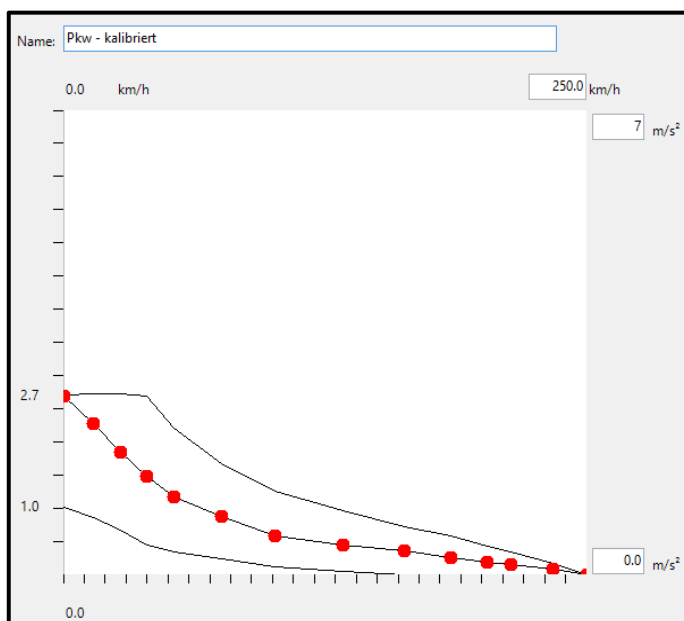


Abbildung 39. Kalibrierte Wunschbeschleunigung in VISSIM

Der Defaultwert für die Mindestzeitlücke zwischen dem hinteren Ende eines Fahrzeugs im Nebenstrom und dem vorderen Ende eines Fahrzeugs des Hauptstroms wird von 0,5 auf 2 s angehoben.

Um den Zufluss und die Abbiegeraten des Modells der Halberstädter Straße zu kalibrieren, werden die durchgeführten Verkehrszählungen verwendet. Die Validierung der Simulation erfolgt anschließend über eine Reisezeitmessung.

Die Kalibrierung der Zuflüsse bzw. der richtigen Querschnittsverkehrsstärken im Modell erfolgt über die sog. GEH statistic, die vom Verkehringenieur Geoffrey E. Havers in den 1970er Jahren erstmals angewandt wurde. *„The GEH statistic is a formula used in traffic engineering, traffic forecasting, and traffic modeling to compare two sets of traffic volumes.[...] GEH statistic is not a true statistical test. Rather, it is an empirical formula that has proven useful for a variety of traffic analysis purposes.“* [Col06]:

$$GEH = \sqrt{\frac{2 * (M - C)^2}{M + C}} \quad (4.3)$$

mit:

M	=	Gemessene Verkehrsstärke pro Stunde in der Simulation
C	=	Gemessene Verkehrsstärke pro Stunde in der Realität

Anhand des GEH ist es möglich, die in einer Simulation erhobenen Querschnittsmessungen mit real erhobenen, empirischen Daten zu vergleichen und anhand dieser Daten eine Kalibrierung des Modells vorzunehmen. Folgende GEH-Werte geben einen Aufschluss über die Genauigkeit der Kalibrierung [Col06]:

GEH	<	5	Flows can be considered a good fit	
5	<	GEH	< 10	Flows may require further investigation
10	<	GEH		Flows cannot be considered to be a good fit

Für drei verschiedene Querschnitte liegen Messwerte über die stündliche Verkehrsstärke zwischen 16 bis 17 Uhr vor. Die Ist-Situation der Halberstädter Straße wird in 3 Simulationsläufen mit unterschiedlichen Startzufallszahlen simuliert und der Mittelwert aus den Simulationsergebnissen gebildet. Unterschiedliche

Startzufallszahlen können einen erheblichen Einfluss auf die Simulation haben. Mehrere Simulationsläufe sind deshalb immer notwendig. Anschließend wird der GEH gebildet, um die Ergebnisse zu beurteilen:

Knotenpunkt Braunschweiger Straße					
Zufluss	Erhebung [Fzg.]	Simulation [Fzg.]	Absolute Abweichung	relativer Fehler	GEH
stadtauswärts	618	852	234	37,86%	8,6
stadteinwärts	640	899	259	40,47%	9,3

Knotenpunkt Rottersdorfer Straße					
Zufluss	Erhebung [Fzg.]	Simulation [Fzg.]	Absolute Abweichung	relativer Fehler	GEH
	304	332	28	9,21%	1,6

Knotenpunkt Brenneckestraße					
Zufluss	Erhebung [Fzg.]	Simulation [Fzg.]	Absolute Abweichung	relativer Fehler	GEH
stadtauswärts	666	618	-48	-7,21%	1,9
stadteinwärts	442	311	-131	-29,64%	6,8

Tabelle 7. Nicht kalibrierte GEH-Berechnung

Der GEH liegt bei den Knotenpunkten Brennecke- und Braunschweiger Straße im Bereich zwischen 5 und 10. Dies bedeutet, dass die Zuflüsse bzw. die Abbiegeraten nachkalibriert werden müssen.

Hierfür werden auf Basis der durchgeführten Verkehrserhebungen, der in der makroskopischen Umlegung berechneten Abbiegeraten und begründeten Annahmen Hochrechnungen für jeden einzelnen Knotenpunkt durchgeführt. Vom Knotenpunkt Südring aus werden die Abbiegeraten so verändert, dass die Zuflüsse in die Halberstädter Straße den erhobenen Querschnittsmessungen an der Bergstraße entsprechen. Stadtauswärtsgehend wird so für jeden Knotenpunkt ein neuer Strombelastungsplan erstellt.

Für einige kleinere Knotenpunkte werden Annahmen über Abbiegewahrscheinlichkeiten getroffen, da diese in der makroskopischen Umlegung nicht betrachtet wurden – im nichtkalibrierten Modell liegt die Abbiegerate an manchen Knotenpunkten bei 0 %. Diese Ergebnisse decken sich nicht mit Beobachtungen, die während einiger Begehungen des Straßenzuges gemacht wurden. Der Aufwand für weitere Verkehrserhebungen ist groß, daher wurden für diese Knotenpunkte – wie z.B. an der Kirchhofstraße – Annahmen getroffen. Das nichtkalibrierte Modell liefert folgendes Strombelastungsdiagramm:

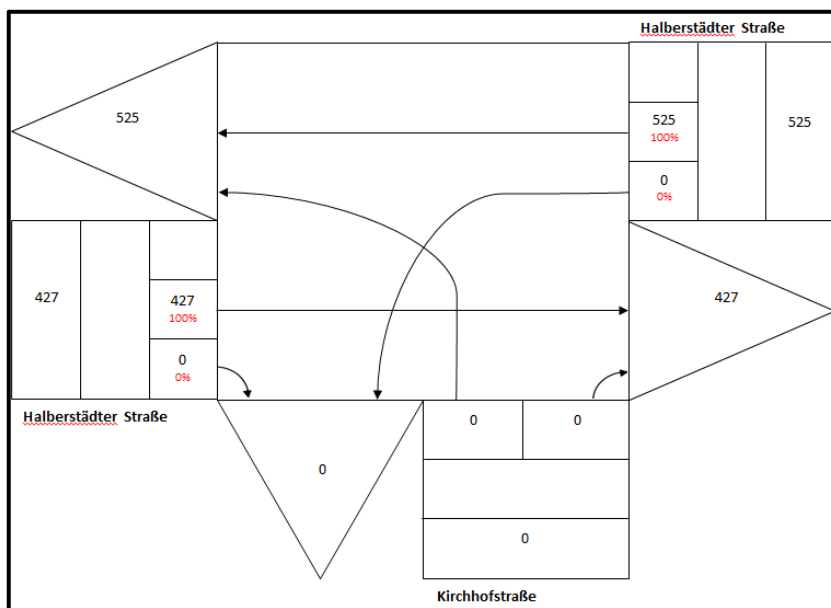


Abbildung 40. Nicht kalibriertes Strombelastungsdiagramm Knotenpunkt Kirchhofstraße

Nach der Kalibrierung haben sich die Zuflüsse der Halberstädter Straße in den Knotenpunkt und die Abbiegeraten in die Kirchhofstraße verändert:

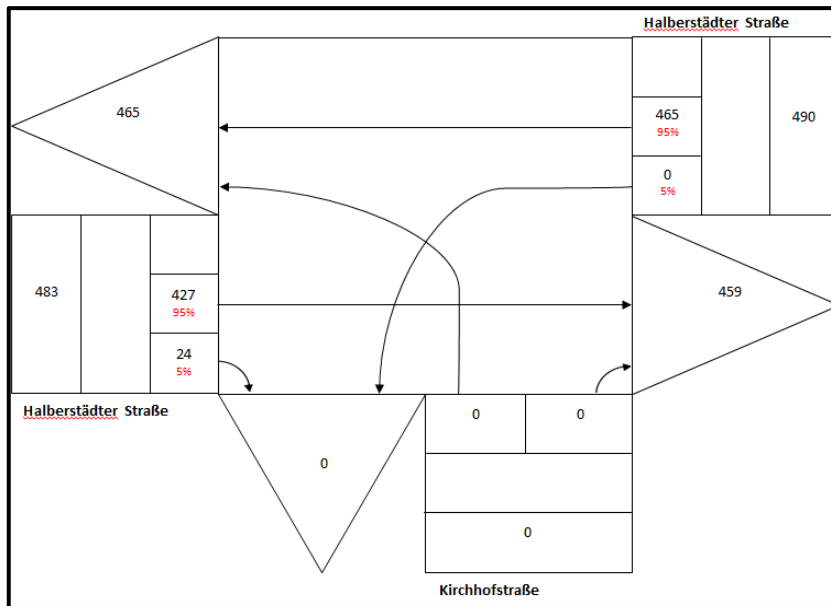


Abbildung 41. Kalibriertes Strombelastungsdiagramm Knotenpunkt Kirchhofstraße

Die Hochrechnung wird auch stadteinwärts, basierend auf den Erhebungsdaten der Brenneckestraße, durchgeführt.

Ein weiteres Mal werden mehrere Simulationen durchgeführt, der Mittelwert der Querschnittsmessungen gebildet und der GEH berechnet:

Knotenpunkt Braunschweiger Straße					
Zufluss	Erhebung	Simulation	Absolute Abweichung	relativer Fehler	GEH
stadtauswärts	618	537	-81	13,11%	3,4
stadteinwärts	640	597	-43	6,72%	1,7

Knotenpunkt Rottersdorfer Straße					
Zufluss	Erhebung	Simulation	Absolute Abweichung	relativer Fehler	GEH
	304	293	-11	3,62%	0,6

Knotenpunkt Brenneckestraße					
Zufluss	Erhebung	Simulation	Absolute Abweichung	relativer Fehler	GEH
stadtauswärts	666	695	29	-4,35%	1,1
stadteinwärts	442	437	-5	1,13%	0,2

Tabelle 8. Kalibrierte GEH-Berechnung

Der GEH liegt bei allen Knotenpunkten unter 5. Somit können die Zuflüsse des Modells als kalibriert angesehen werden.

4.2 Validierung

Das kalibrierte Modell wird mit einem Datensatz von erhobenen Pkw-Reisezeiten verglichen, um den Nachweis der Validierung zu erbringen. Als Validierungskriterium wird nach [Bar10] eine maximale prozentuale Abweichung $\pm 20\%$ der Simulationswerte im Vergleich zu den erhobenen Werten angenommen.

Abbildung 42 zeigt erhobene Reisezeiten, die bei einer Testfahrt am 06. Februar 2013 von 15:39 Uhr bis 17:03 erhoben wurden:

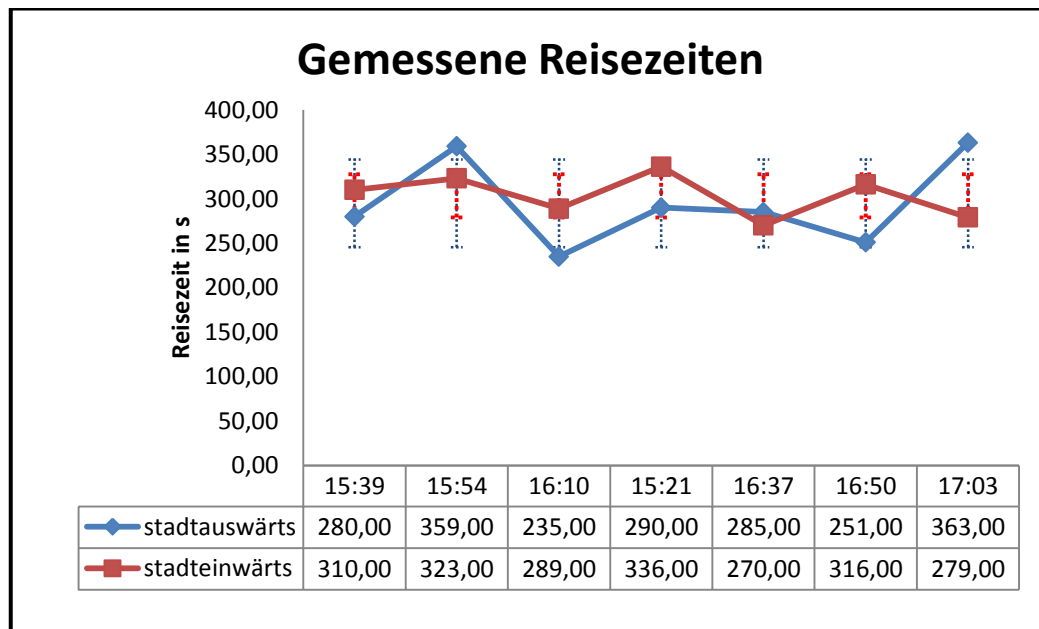


Abbildung 42. Reisezeitenmessung

Als rote bzw. blaue T-Striche ist die jeweilige Standardabweichung im Diagramm markiert. Folgende durchschnittliche Reisezeiten ergeben sich:

Durchschnittliche Reisezeit [s]		Standardabweichung
stadtauswärts	295	49,3
stadteinwärts	303	24,4

Tabelle 9. Gemessene durchschnittliche Reisezeiten

Mit der kalibrierten Simulation werden mehrere Simulationsläufe durchgeführt, dabei wird die Reisezeiten für PKW, die stadtauswärts bzw. stadteinwärts unterwegs sind, aufgezeichnet und anschließend der Mittelwert gebildet:

Durchschnittliche Reisezeit [s]		Standardabweichung
stadtauswärts	350	53,8
stadteinwärts	275	50,0

Tabelle 10. Gemessene durchschnittliche Reisezeiten in der kalibrierten Simulation

Tabelle 11 zeigt einen Vergleich zwischen den durchschnittlichen Reisezeiten der Simulation und den durchschnittlichen erhobenen Reisezeiten:

Fahrtrichtung	Ø-Reisezeit aus Erhebung [s]	Ø-Reisezeit aus Simulation [s]	Absolute Abweichung [s]	relativer Fehler
Südring Brenneckestraße, stadtauswärts	295	350	55	18,64 %
Brenneckestraße Südring, stadteinwärts	303	275	-28	-9,24 %

Tabelle 11. Reisezeitenvergleich

Die durchschnittliche prozentuale Abweichung liegt unter $\pm 20\%$. Das Modell kann als valide betrachtet werden.

5 Simulationsergebnisse

Nach dem Aufbau und der Kalibrierung bzw. Validierung der Simulation können die drei Szenarien simuliert werden. Die verkehrsabhängige Steuerung wird in 4, Festzeitsteuerung und Grüne Welle in jeweils 3 Simulationsläufen mit unterschiedlichen Zufallszahlen simuliert.

Bei einer Variation der Zufallszahlen erhalten die stochastischen Funktionen in VISSIM eine unterschiedliche Wertreihenfolge; stochastische Schwankungen der Zuflüsse können so abgebildet werden. Diese Veränderungen können zu einem unterschiedlichen Verkehrsfluss in der Simulation führen. *„Um einen guten Eindruck von der stochastischen Streuung der Resultate zu bekommen, ist es empfehlenswert, mehrere Simulationsläufe mit verschiedenen Startzufallszahlen durchzuführen und die Ergebnisse zu vergleichen.“* [Ptv11]

5.1 Reisezeiten

Über die in Kapitel 3.5 der Arbeit definierten Reisezeitmesser werden Reisezeiten für die stadtauswärts bzw. stadteinwärts fahrenden Pkw erhoben, die in der Simulationszeit jeweils den Eingangs- bzw. Ausgangsquerschnitt überfahren haben. Zusätzlich werden die Reisezeiten der Straßenbahnlinie 1 und 10 entlang der Linienführung erfasst.

Die gemessenen Reisezeiten werden in einer Häufigkeitsstatistik dargestellt. Hierfür werden die gemessenen Zeiten in Kategorien von je 50 Sekunden eingeordnet und die absolute Häufigkeit dieser Kategorien bestimmt. Die durchschnittliche Reisezeit ergibt sich aus dem Mittelwert aller gemessenen Zeiten in die jeweilige Richtung.

5.1.1 Festzeitsteuerung

Folgende Reisezeiten ergeben sich für den PKW stadtauswärts bzw. stadteinwärts:

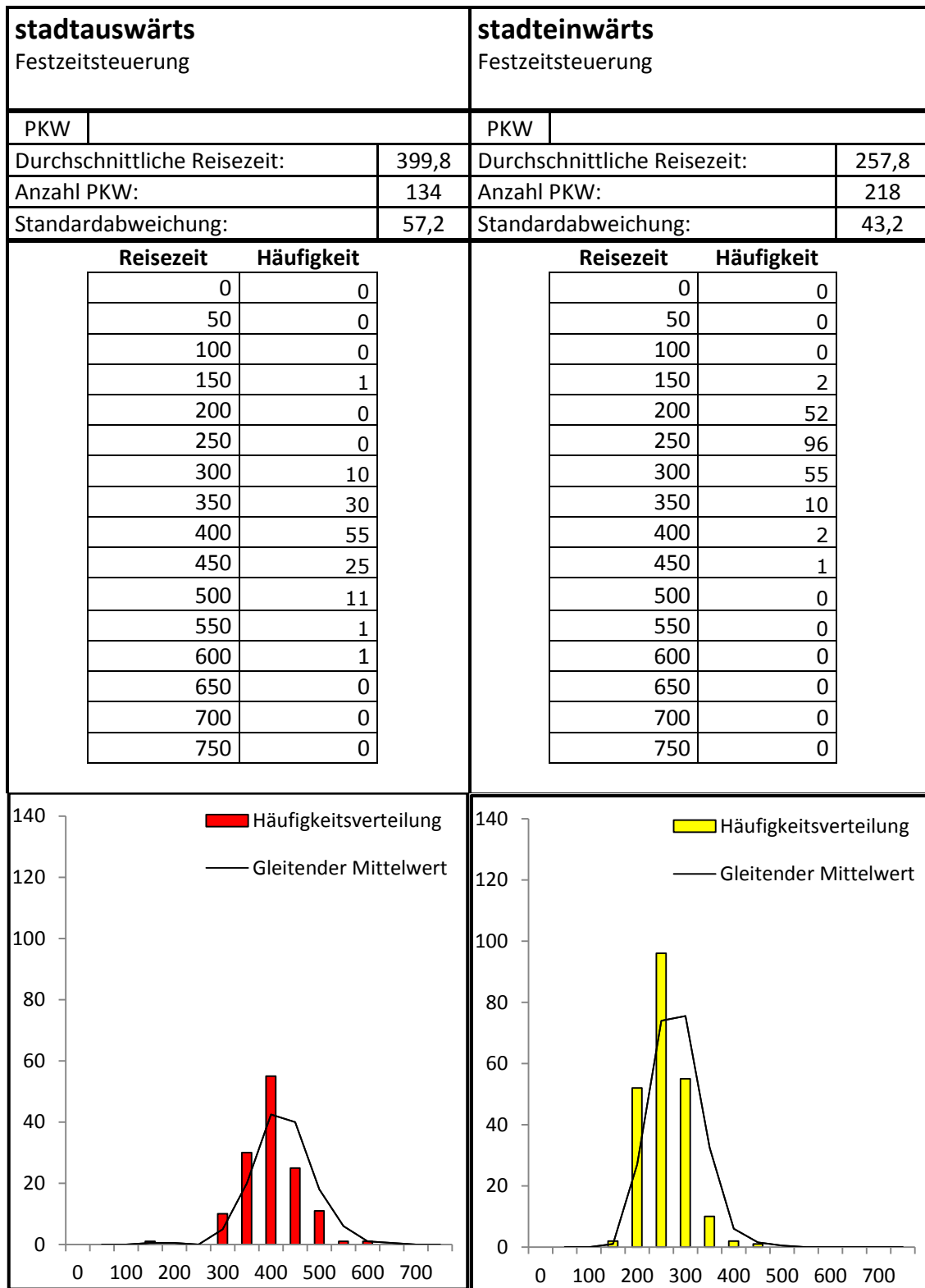


Abbildung 43. Reisezeiten Pkw - Festzeitsteuerung

Für die Straßenbahnlinie 1 wurden folgenden Reisezeiten gemessen:

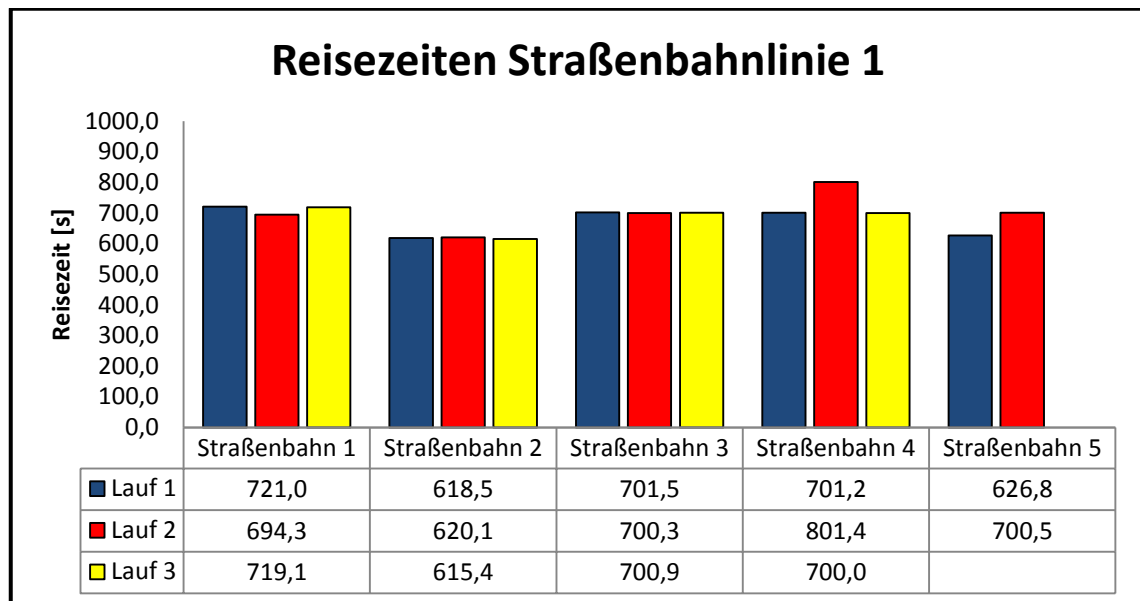


Abbildung 44. Reisezeiten Straßenbahnlinie 1 - Festzeitsteuerung

Die Straßenbahnen sind nach Einfahrtreihenfolge ins Modell (Fahrplan) nummeriert. Im dritten Lauf war Straßenbahn 5 so langsam, dass die Bahn nach 3600 s Simulationszeit den Reisezeitmessquerschnitt noch nicht überfahren hat. Folgende durchschnittliche Fahrzeit ergibt sich so:

Straßenbahnlinie 1	
Festzeitsteuerung	
Durchschnittliche Reisezeit:	687,2
Standardabweichung:	51,4

Tabelle 12. Durchschnittliche Reisezeiten Straßenbahnlinie 1 - Festzeitsteuerung

Abb. 45 zeigt die Reisezeiten für die Straßenbahnlinie 10:

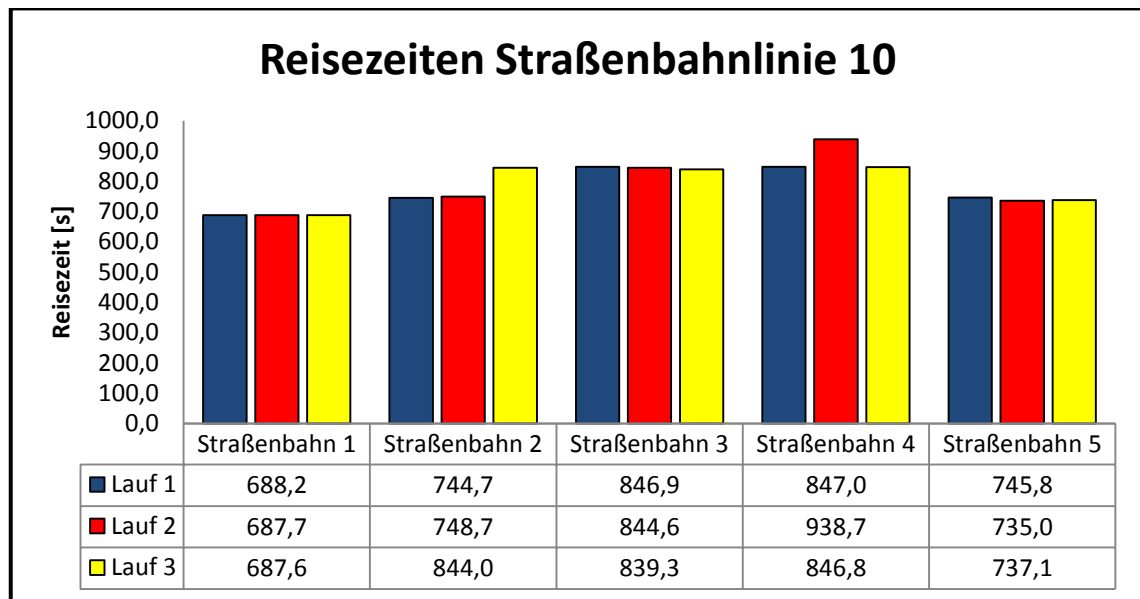


Abbildung 45. Reisezeiten Straßenbahnlinie 10 - Festzeitsteuerung

Es ergibt sich folgende durchschnittliche Reisezeit:

Straßenbahnlinie 10	
Festzeitsteuerung	
Durchschnittliche Reisezeit:	785,5
Standardabweichung:	76,9

Tabelle 13. Durchschnittliche Reisezeiten Straßenbahnlinie 10 - Festzeitsteuerung

Abb. 46 und Abb. 47 zeigen die Zeit-Weg-Diagramme der ersten und der dritten Straßenbahn der Straßenbahnlinie 10, die in das Modell einfahren.

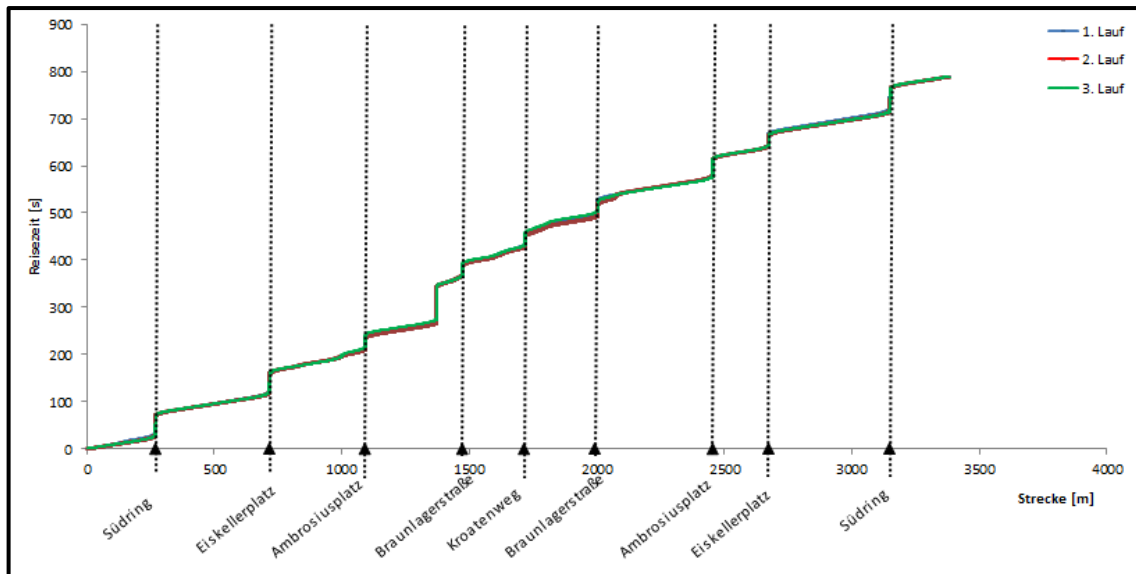


Abbildung 46. Zeit-Weg-Diagramm der ersten Straßenbahnlinie 10 - Festzeitsteuerung

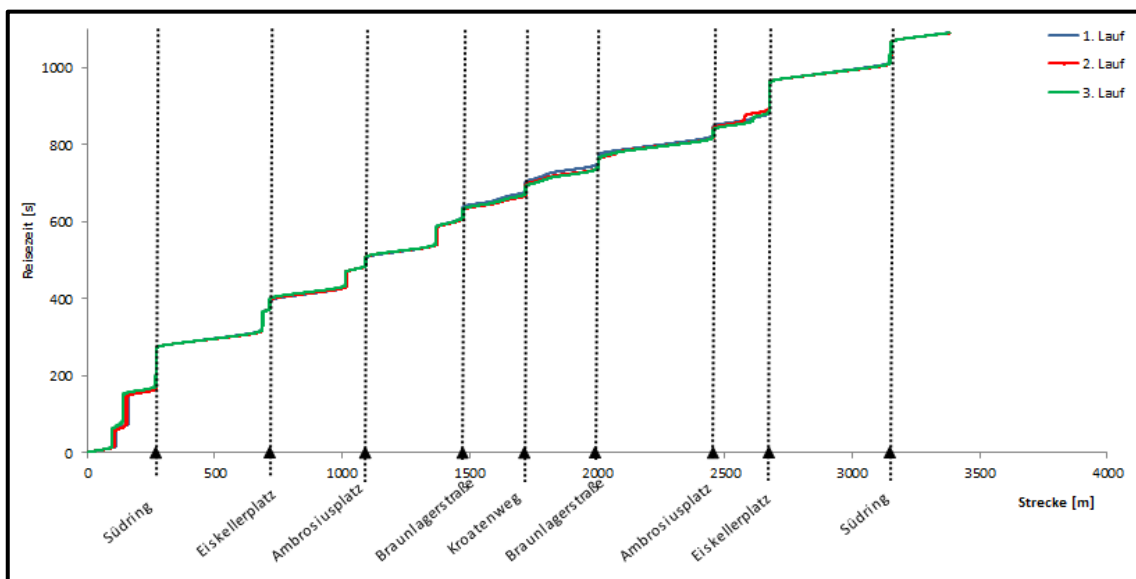


Abbildung 47. Zeit-Weg-Diagramm der dritten Straßenbahnlinie 10 - Festzeitsteuerung

5.1.2 Verkehrsabhängige Steuerung

Die Reisezeiten werden wieder stadtauswärts bzw. stadteinwärts gemessen:

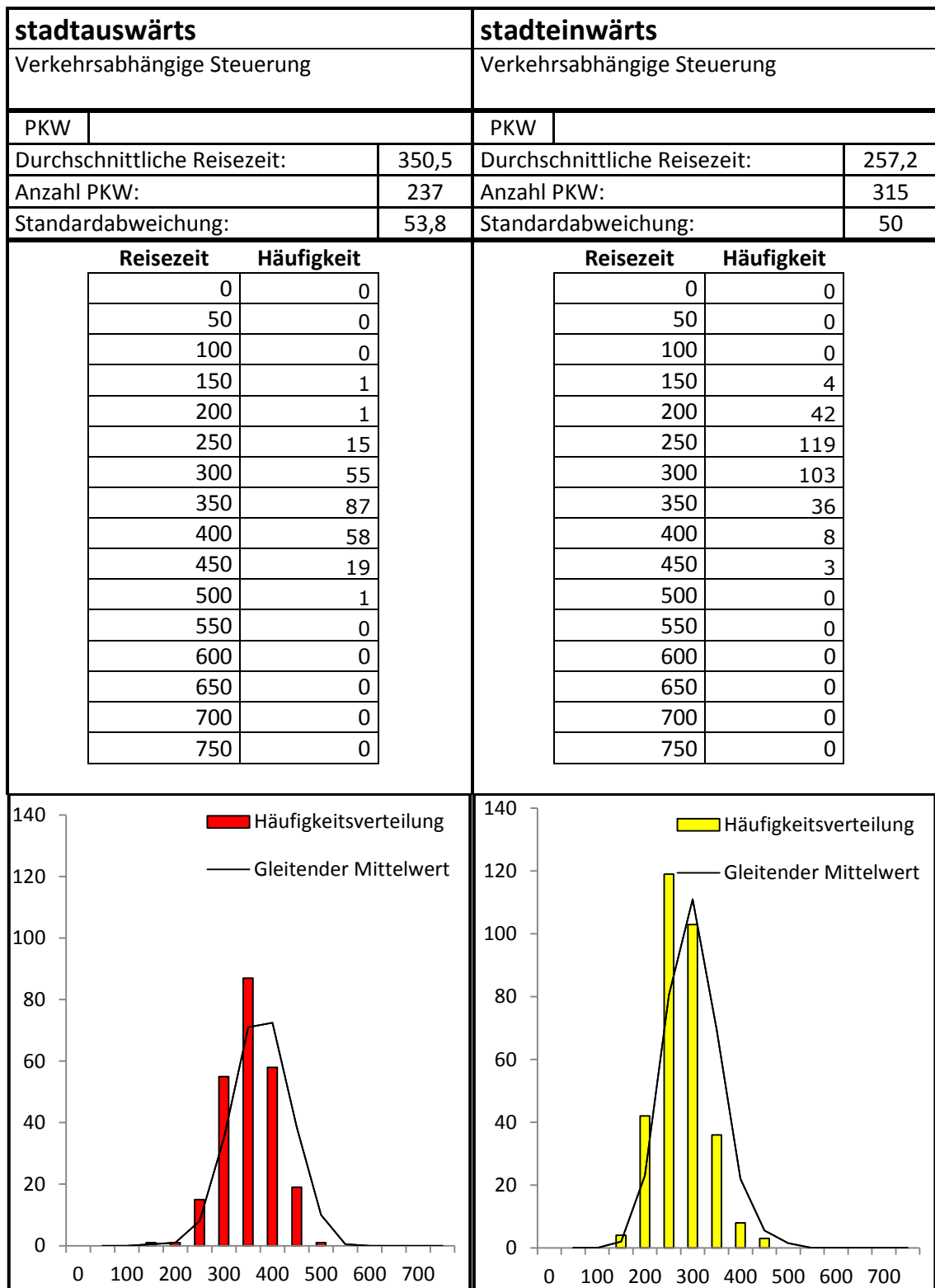


Abbildung 48. Reisezeiten Pkw – verkehrsabhängige Steuerung

Abb. 49 zeigt die Reisezeiten der Straßenbahnlinie 1:

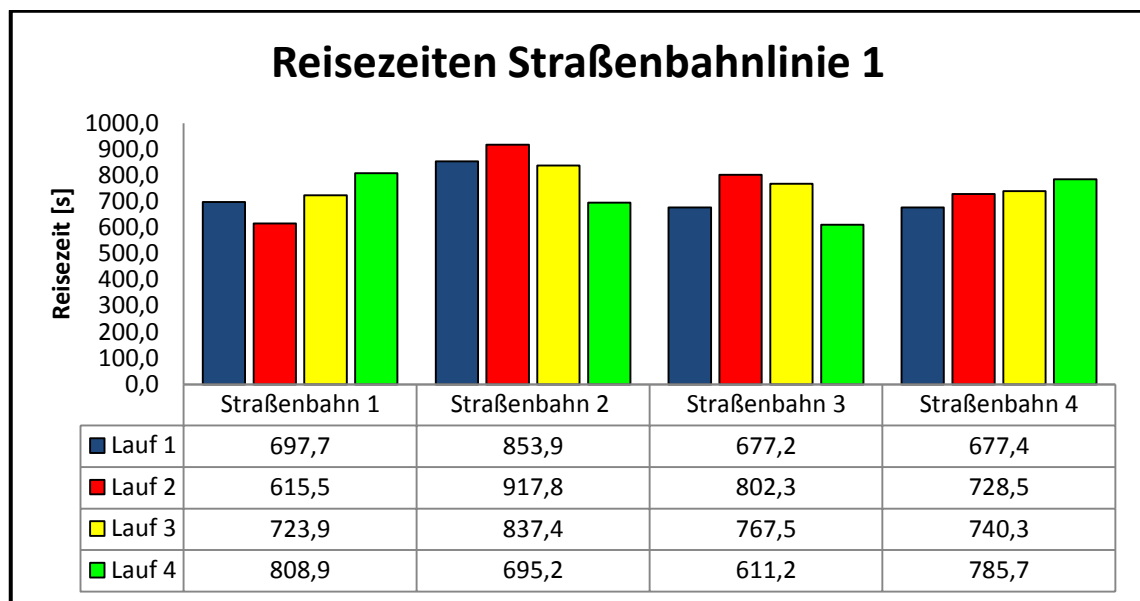


Abbildung 49. Reisezeiten Straßenbahnlinie 1 - verkehrsabhängige Steuerung

Daraus errechnet sich:

Straßenbahnlinie 1 Verkehrsabhängige Steuerung	
Durchschnittliche Reisezeit:	746,3
Standardabweichung:	85,3

Tabelle 14. Durchschnittliche Reisezeiten Straßenbahnlinie 1 - verkehrsabhängige Steuerung

Reisezeiten der Straßenbahnlinie 10 (Abb. 50):

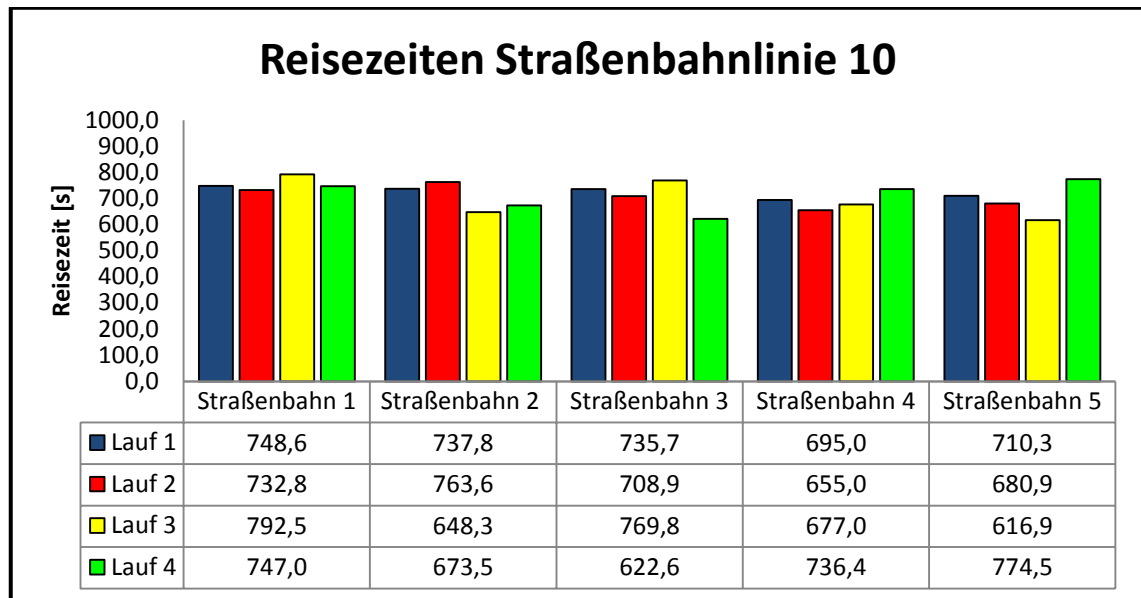


Abbildung 50. Reisezeiten Straßenbahnlinie 10 - verkehrsabhängige Steuerung

Die resultierende durchschnittliche Reisezeit ergibt sich zu:

Straßenbahnlinie 10	
Verkehrsabhängige Steuerung	
Durchschnittliche Reisezeit:	711,3
Standardabweichung:	51

Abbildung 51. Durchschnittliche Reisezeiten Straßenbahnlinie 10 - verkehrsabhängige Steuerung

5.1.3 Koordinierung

Bei der Koordinierung werden nur die Reisezeiten der Pkw erhoben (Abb. 52):

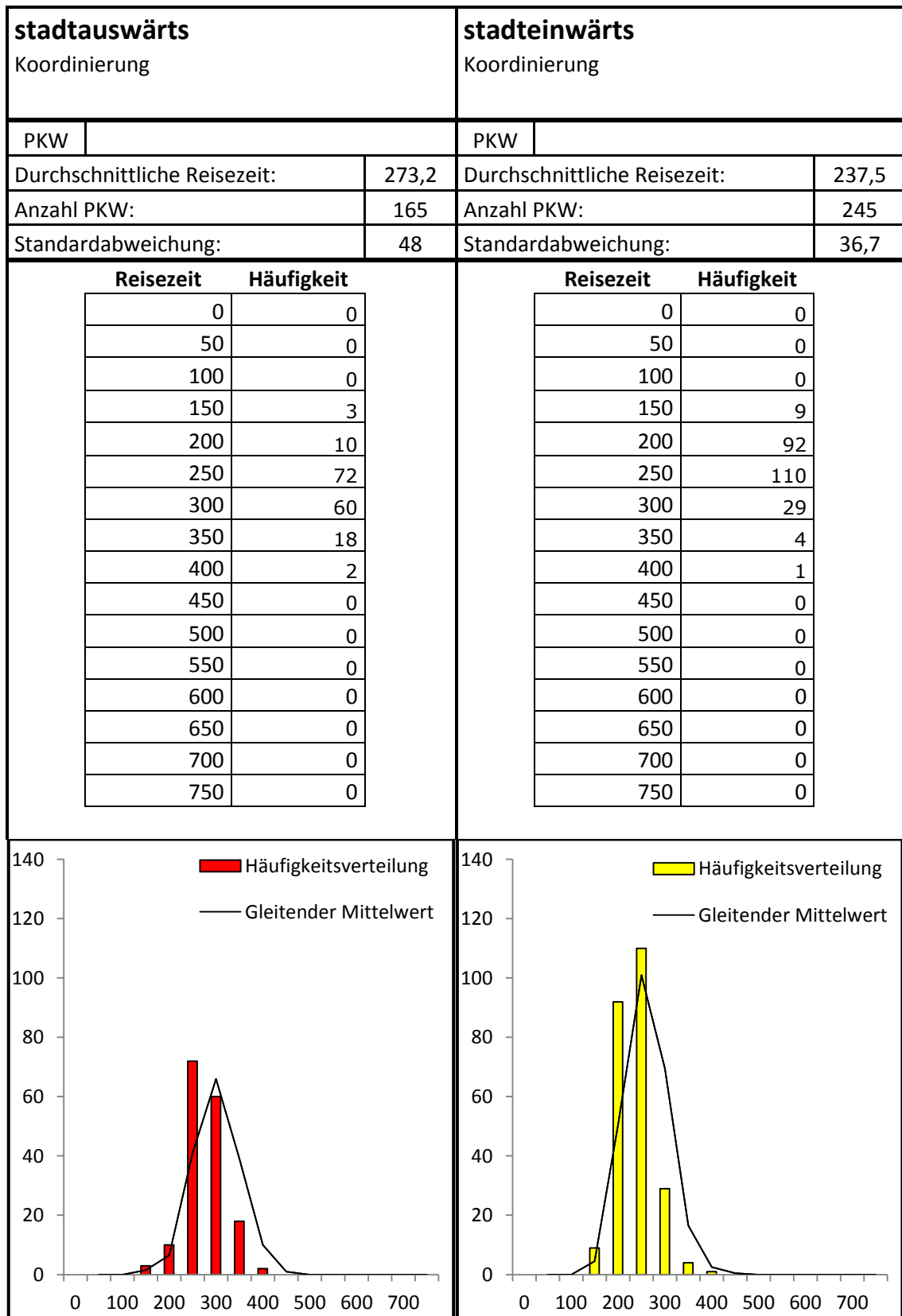


Abbildung 52. Reisezeiten Pkw – Koordinierung

5.2 Anzahl der Halte

Zweites Auswertungskriterium ist die Anzahl der Halte. Mit VISSIM wird eine Netzauswertung erstellt, in die die Anzahl aller Halte im Netz sowie die durchschnittliche Anzahl pro Fahrzeug einfließen.

5.2.1 Festzeitsteuerung

Tabelle 15 gibt mittlere Anzahl an Fahrzeugen pro Fahrzeugklasse an. Ergänzend werden mittlere Verlust- bzw. mittlere Standzeiten pro Fahrzeug von VISSIM errechnet. Die in der Tabelle dargestellten Ergebnisse werden als Mittelwert aller Simulationsläufe gebildet.

Fahrzeugklasse	Anzahl Fahrzeuge	Wegstrecke (km)	Pro Fahrzeug		
			Mittlere Verlustzeit (s)	Mittlere Anzahl Halte	Mittlere Standzeit (s)
Pkw (10)	3339	2621,46	111,94	2,228	82,41
Bus (30)	36	43,11	209,04	2,704	147,43
Bahn (40)	21	38,44	245,43	4,413	138,75

Tabelle 15. Auswertung mittlere Anzahl Halte - Festzeitsteuerung

5.2.2 Verkehrsabhängige Steuerung

Tabelle 16 zeigt die Ergebnisse der verkehrsabhängigen Steuerung:

Fahrzeugklasse	Anzahl Fahrzeuge	Wegstrecke (km)	Pro Fahrzeug		
			Mittlere Verlustzeit (s)	Mittlere Anzahl Halte	Mittlere Standzeit (s)
Pkw (10)	3601	2897,0	96,1125	2,277	65,47
Bus (30)	36	44,0	130,735	2,674	65,77
Bahn (40)	21	38,7	205,15	3,119	109,47

Tabelle 16. Auswertung mittlere Anzahl Halte – verkehrsabhängige Steuerung

5.2.3 Koordinierung

Tabelle 17 zeigt die Ergebnisse der Koordinierung:

Fahrzeugklasse	Anzahl Fahrzeuge	Wegstrecke (km)	Pro Fahrzeug		
			Mittlere Verlustzeit (s)	Mittlere Anzahl Halte	Mittlere Standzeit (s)
Pkw (10)	3626	2924,94	95,45	1,984	68,58
Bus (30)	36	43,77	158,87	3,139	91,61

Tabelle 17. Auswertung mittlere Anzahl Halte – Koordinierung

5.3 Knotenpunktauswertung

Für die Knotenpunktauswertung werden alle 5 Knotenpunkte sowie die Verbindungsstrecken ausgewertet:

Knotenpunkt	Mittlere Verlustzeit [s]			Standardabweichung			LOS		
	Fest.	Verk.	Koord.	Fest.	Verk.	Koord.	Fest.	Verk.	Koord.
Südring	67,5	62,8	73,7	64,3	48,7	65,3	E	E	E
Strecke Südring Rottersd. Str / Lemsd.Weg / Braunschwei- ger Str.	2,5	4,2	1	7,5	10,1	2,8	A	A	A
Rottersd. Str / Lemsd.Weg / Braunschwei- ger Str.	25,6	24	28,4	25,9	21,9	31,6	C	C	C
Strecke Rottersd. Str. / Lemsd.Weg / Braunschwei- ger Str. - Ambrosiusplatz	3,7	2,4	0,5	10,6	6	2,3	A	A	A
Ambrosiusplatz	9,1	12,3	0,5	13	15,1	2,4	A	B	A
Strecke Ambrosiusplatz - Bergstraße	5,6	11,1	3,1	11,8	22	5,9	A	B	A
Bergstraße	38,2	38,8	33,4	52,6	53,9	42,8	D	D	C
Strecke Bergstraße – Brennecke- straße	5,2	6,3	4,2	8,3	8,7	6,1	A	A	A
Brennecke- straße	34,3	19	21,3	42	20,3	26,2	C	B	C

Tabelle 18. Knotenpunktauswertung

5.4 Schadstoffemission

Mit VISSIM ist es möglich, die lokale CO₂- bzw. Schadstoffemission in der Simulation indirekt zu messen. Über eine Knotenpunktmessung wird der lokale Kraftstoffverbrauch aller Fahrzeuge im Messbereich unter der Annahme, dass beim Verbrennen von 1 Liter Benzin 2,35 kg CO₂ entstehen [vgl. Kapitel 2.5], bestimmt

	Festzeitsteuerung	verkehrsabhängige Steuerung	Koordinierung
Anzahl Fahrzeuge im Netz	3772	4100	4085
[Pkw, Lkw, Busse]			
Gesamtverbrauch [l]	1787	1961	1856
CO ₂ -Emission [kg]	4200	4609	4362
CO ₂ -Emission pro Fzg. [kg/Fzg.]	1,113	1,124	1,068
CO-Emission [g]	27480	30155	28543
CO-Emission pro Fzg. [g/Fzg]	7,285	7,355	6,987
NO _x -Emission [g]	5347	5867	5554
NO _x -Emission pro Fzg. [g/Fzg.]	1,417	1,431	1,359

Tabelle 19. Durchschnittliche Schadstoffemission

6 Auswertung

Anhand der Simulationsergebnisse sollen Aussagen über die Qualität der drei verschiedenen Szenarien getroffen werden. Da VISSIM eine stochastische Simulation ist, sind deren Ausgangsdaten ebenfalls stochastisch. Die Analyse dieser Ausgabedaten liefert also nur eine Schätzung im Sinne der mathematischen Statistik. [San10]

6.1 Bewertung der Simulationsergebnisse

Abbildung 53 zeigt die Zusammenfassung der durchschnittlichen Reisezeiten. Zusätzlich ist im Diagramm die prozentuale Abweichung der verkehrsabhängigen Steuerung bzw. der Koordinierung im Vergleich zur Festzeitsteuerung dargestellt.

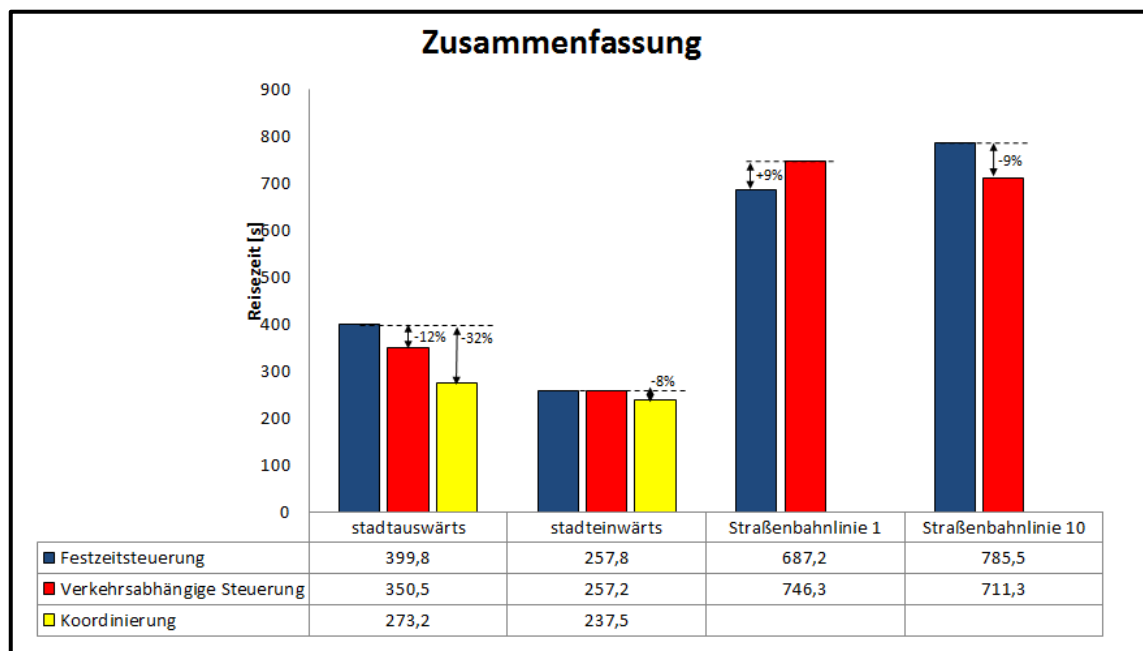


Abbildung 53. Zusammenfassung Reisezeitauswertung

Das Szenario mit den Festzeitsteuerungen schneidet am schlechtesten ab, die Reisezeiten sind hier höchsten. Im Vergleich zur Festzeitsteuerung sind die Reisezeiten für Pkw in der koordinierten Steuerung deutlich besser: Die Reisezeit stadtauswärts reduziert sich um mehr als 32 %, stadteinwärts um 8 %. Auch beim Ist-Zustand kann eine Verbesserung von 12 % stadtauswärts beobachtet werden. Die Reisezeiten stadteinwärts fallen annähernd identisch aus.

Der Vergleich der Reisezeiten der Straßenbahnlinien 1 und 10 zeigt ein unerwartetes Ergebnis. Bei der stadtauswärts fahrenden Straßenbahnlinie 1 beträgt die Fahrzeit mit

verkehrsabhängiger Steuerung durchschnittlich knapp 60 Sekunden mehr als bei der Festzeitsteuerung. Bei der Straßenbahnlinie 1 ist eine Verbesserung der Reisezeit von ca. 70 Sekunden zu beobachten. Dieser Unterschied tritt auf, obwohl beide Straßenbahnen annähernd die gleiche Route befahren. Die einzig relevante Veränderung im Routenverlauf ist die Einfahrt in die Halberstädter Straße über den Südring (Straßenbahnlinie 1) bzw. die Einfahrt über die nördliche Halberstädter Straße (Straßenbahnlinie 10). Dies ist ein Indiz dafür, dass das neu entworfene Festzeitprogramm der LSA Südring nicht optimal für die Straßenbahnlinie 1 ausgelegt ist.

Die Verbesserung der Reisezeit der Straßenbahnlinie 10 ist durch die längere Freigabezeit für den Pkw- bzw. Lkw-Verkehr, der aus nördlicher Richtung in den Knotenpunkt am Südring einfährt, zu begründen. Die Straßenbahnlinie 10, die aus dieser Richtung in den Knotenpunkt einfährt, wird in diesem Bereich zunächst auf der Straße geführt und teilt sich erst kurz vor dem Knotenpunkt auf eine gesonderte Fahrspur für die Haltestelle Südring auf. Mit der Festzeitsteuerung tritt häufig der Fall ein, dass durch rückstauende Fahrzeuge an der LSA Südring der Straßenbahn die Einfahrt auf die gesonderte Strecke nicht möglich ist.

Abbildung 46 und 47 zeigen Zeit-Weg-Diagramme für die Straßenbahnlinie 10 der Festzeitsteuerung für die erste und die dritte Straßenbahnen, die fahrplanmäßig ins Netz einfahren. Farblich unterschiedlich dargestellt sind die Fahrten der drei Simulationsläufe. Besonders auffällig ist, dass sich die drei Graphen bei allen drei Läufen annähernd überlagern. Dies bedeutet, dass der Fahrverlauf in allen drei Simulationsläufen annähernd gleich ist.

Die erste Straßenbahn, die nach 300 Sekunden ins Netz einfährt, kann fast unbeeinflusst durch das Modell fahren und hält fast nie außerplanmäßigen, einziger Halt ist der an der LSA Bergstraße. Vergleicht man diesen Fahrverlauf mit der dritten Straßenbahn, die nach 1 500 Sekunden einfährt, fällt auf, dass diese Straßenbahn wesentlich öfter halten muss. Das Zeit-Weg-Diagramm untermauert die Beobachtung, dass die Zufahrt zum Südring blockiert ist – lange Wartezeiten an dieser Stelle sind die Folge.

Zeit-Weg-Diagramme für das verkehrsabhängige Szenario liegen aufgrund eines Softwarefehlers der Simulation nicht vor. Mit diesen Daten wäre ein Vergleich der Fahrverläufe möglich, um den Einfluss der verkehrsabhängigen Schaltung auf den Straßenbahnverkehr deutlicher herauszuarbeiten.

Das Ergebnis der Reisezeitauswertung wird auch durch die mittleren Verlust - bzw. die mittleren Standzeiten [vgl. Abb. 54 und 55] bestätigt.

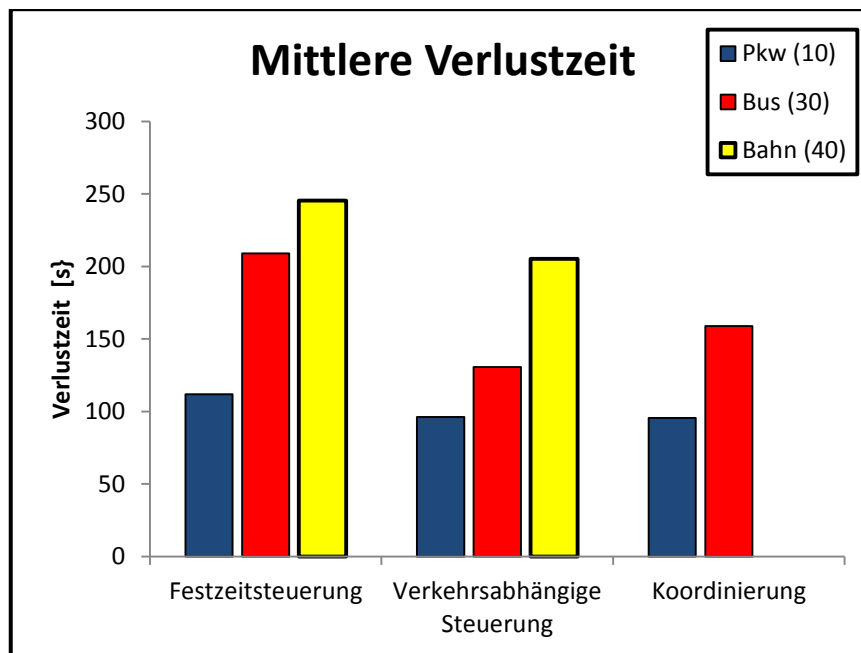


Abbildung 54. Mittlere Verlustzeiten

Insbesondere für den Bus- bzw. Straßenbahnverkehr kann die mittlere Verlustzeit durch die verkehrsabhängige Steuerung deutlich gesenkt werden. Die größeren Verlustzeiten der Straßenbahn gegenüber dem Busverkehr lassen sich durch die längeren Fahrzeiten der Straßenbahnen erklären. Dadurch, dass die Straßenbahnen in die Halberstädter Straße einfahren, sie einmal durchqueren, in einer Schleife wenden und wieder zurückfahren, addieren sich die Verlustzeiten von Hin- und Rückweg. Für den Pkw- bzw. Lkw-Verkehr ergeben sich fast keine Veränderungen.

Auf Basis der Verlustzeiten werden mit VISSIM die einzelnen Knotenpunkte nach dem HBS in LOS (Level of Service) eingeteilt. Kritisch zu bewerten ist die LSA am Südring, die in allen drei Simulationsszenarien die Wertung *E* bekommt. Dies bedeutet, dass die Wartezeiten sehr lang sind und die Kapazitätsgrenze annähernd erreicht wird. Mit keiner der drei Schaltungen in den unterschiedlichen Szenarien ist es gelungen, den

Verkehrsablauf deutlich zu verbessern. Die optimierte Version im Szenario des Ist-Zustandes ergibt die geringsten, die koordinierte Schaltung die höchsten Verlustzeiten. Durch die Verlängerung der Freigabezeit an der Halberstädter Straße stadtauswärts wird bei der Koordinierung zwar das Grünband verbreitert, was zu Lasten der anderen Fahrrichtungen geschieht und zu hohen Verlustzeiten an diesen Zufahrten führt.

Vergleicht man diese Ergebnisse mit den realen Beobachtungen, so zeigt sich, dass die Warte- bzw. Verlustzeiten in der Realität an der LSA Südring sehr hoch sind. Um das hohe Verkehrsaufkommen der Nachmittagsspitze zu bewältigen, muss die Kapazität deutlich erhöht werden. Das geschieht durch Erhöhung der Umlaufzeiten, was wiederum zu längeren Wartezeiten führt. Beobachtungen, die vor Ort gemacht wurden, haben zur Nachmittagsspitze eine Umlaufzeit von 120 bis 140 Sekunden ergeben.

Eine weitere Besonderheit ist die LSA Ambrosiusplatz. Für die Festzeitsteuerung der Fußgänger-LSA ergibt sich eine Bewertung von *A*, wohingegen die Bewertung der verkehrsabhängigen Steuerung mit einem *B* schlechter ausfällt. Im LOS, den VISSIM bestimmt, fließt nur die Qualität des Pkw- bzw. Lkw-Verkehrs ein. Durch eine verkehrsabhängig geschaltete Fußgänger-LSA am Ambrosiusplatz, die mit Tastern für den Fußgängerverkehr ausgestattet ist, steigert sich insbesondere die Qualität für den Fußgänger- bzw. Radverkehr. Dadurch kommt es zu leichten Einschränkungen des PKW-Verkehrs, die durch die Steuerungsabläufe wie z. B. Beschränkungen des Phasenübergangs in die Fußgängerphase durch Bemessung des Straßenverkehrs im vertraglichen Rahmen gehalten werden.

Eine Verbesserung für den Verkehrsablauf an der Brenneckestraße stellt die Verkehrsabhängige Schaltung dar. Durch sie konnte die Qualität des Verkehrsablaufes deutlich gesteigert werden. Die Verlustzeiten im Vergleich zur Festzeitsteuerung haben sich annähernd halbiert.

Die mittlere Standzeit spiegelt das Ergebnis der Verlustzeiten wider. Vor allem durch die verkehrsabhängige Steuerung kann die mittlere Standzeit des ÖPNVs deutlich reduziert werden. Für den Pkw- bzw. Lkw-Verkehr ergeben sich so auch die besten Ergebnisse. Die Koordinierung zeigt leichte Verbesserungen gegenüber der Festzeitsteuerung auf.

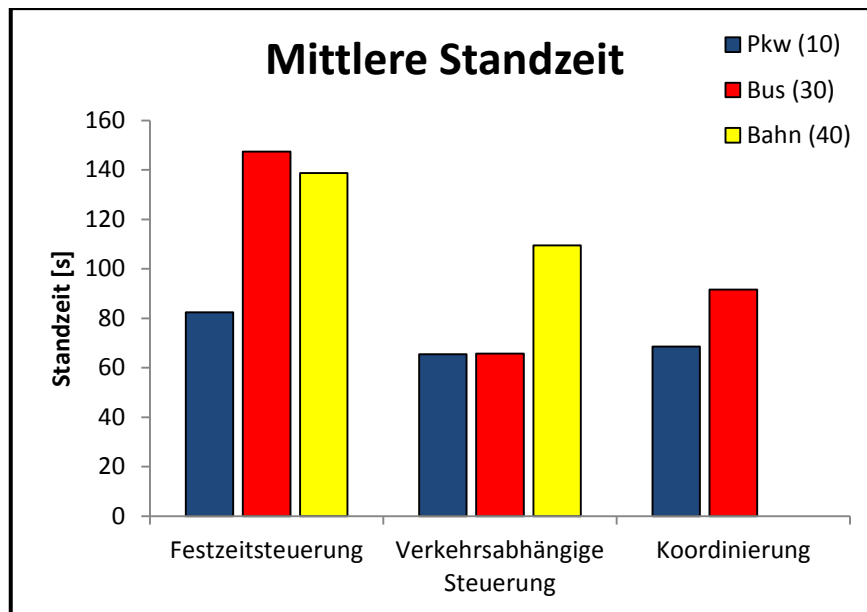


Abbildung 55. Mittlere Standzeit

Weiteres wichtiges Kriterium der Auswertung der Szenarien ist die CO₂-Emission auf dem Streckenabschnitt. Tabelle 19 zeigt die gesamte Schadstoff- bzw. CO₂-Emission. Diese Werte allein sind noch nicht aussagekräftig, da jeweils unterschiedlich viele Fahrzeuge in der Simulation unterwegs sind. Aus diesem Grund wird die Schadstoff- bzw. CO₂-Emission pro Fahrzeug gebildet. Zwischen der CO₂-Emission und der mittleren Anzahl an Halten pro Fahrzeug gibt es einen direkten Zusammenhang [vgl. Abbildung 56].

Durch die Koordinierung kann die mittlere Anzahl an Halten für Pkws auf unter zwei Halte pro Fahrzeug reduziert werden. Diese Reduzierung bewirkt eine Senkung der CO₂-Emission um ca. 5 % gegenüber der Festzeitsteuerung. Auch der Ausstoß von anderen Schadstoffen wie Kohlenstoffmonooxid und Stickoxiden kann deutlich gesenkt werden. Durch die vereinfachte Annahme, dass keine Straßenbahnen unterwegs sind, ergibt sich zwangsläufig eine reduzierte Anzahl an Halten für PKWs; trotzdem ist der positive Effekt der Koordinierung erkennbar.

Augenscheinlich gibt es kaum nennenswerte Unterschiede zwischen der verkehrsabhängigen Steuerung und der Festzeitsteuerung: Die Mittlere Standzeit der Busse kann mit der verkehrsabhängigen Schaltung deutlich reduziert werden, dies führt aber nicht zu einer Reduzierung der mittleren Anzahl an Halten. Die Anzahl an

Halten der *Straßenbahn* wird dagegen von fast 4,5 Halten pro Fahrzeug auf knapp 3 gesenkt.

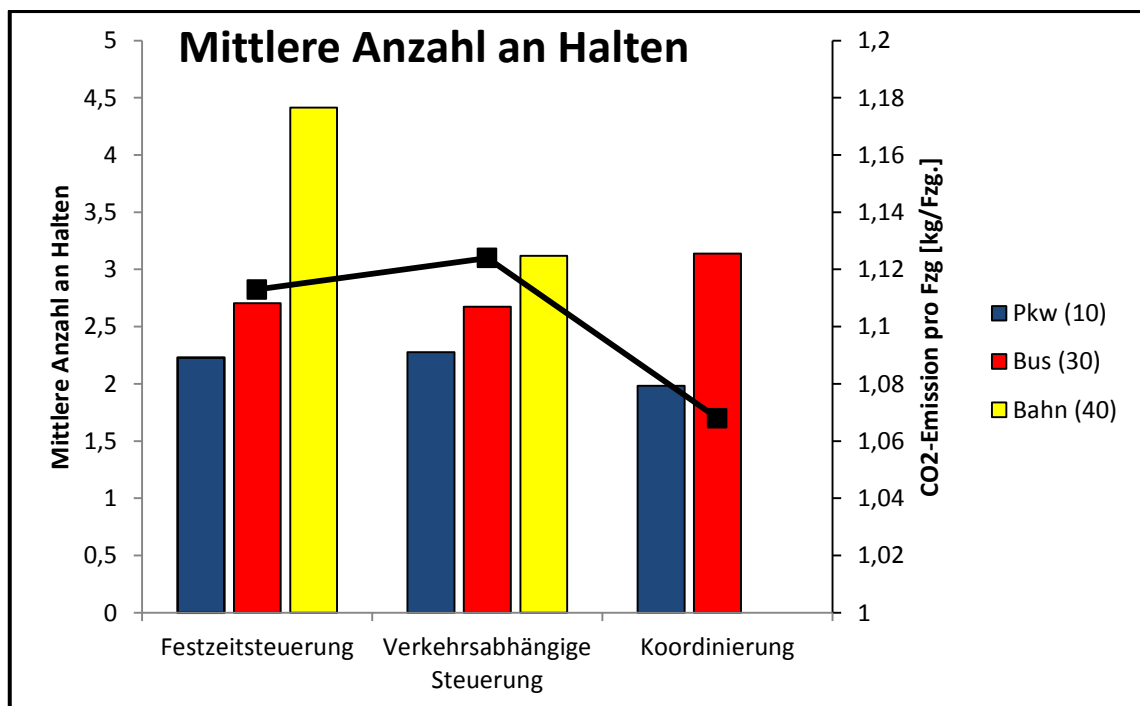


Abbildung 56. Mittlere Anzahl an Halten im Vergleich zur CO₂-Emission pro Fahrzeug

6.2 Ermittlung von Potenzialen für eine optimierte Verkehrssteuerung

In Kapitel 3.4.2 wird eine beispielhafte Zwischenzeitberechnung für die LSA Bergstraße durchgeführt [vgl. Abb. 31]. Vergleicht man diese Zwischenzeitmatrix mit der Zwischenzeitmatrix aus den VTU, so zeigt sich, dass es insbesondere bei den Fußgängersignalgruppen ein Optimierungspotenzial gibt. In den VTU wird beim Fall „Fußgänger räumt – Fahrzeug fährt ein“ mit einem Einfahrweg von null Metern gerechnet. Ein Abgleich mit dem Lageplan [vgl. Abb. 28] zeigt, dass die Haltelinie für die LSA meist drei bis sechs Meter vor der Fußgängerfurt liegen. Durch den verlängerten Einfahrweg steigt die Einfahrzeit an. Bei der Zwischenzeitberechnung wird aus Sicherheitsgründen immer auf die nächst höhere ganze Zahl aufgerundet. Dies kann eine Reduzierung der Zwischenzeit um eine Sekunde bewirken [vgl. (3.3)]. Einige Zwischenzeiten fallen größer aus. In den VTU wird mit einer Räumgeschwindigkeit für Radfahrer von 5 m/s gerechnet. Nach [Fsv10] sollten 4 m/s angenommen werden.

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass eine Koordinierung der Halberstädter Straße zu einer deutlichen Reduzierung der Reisezeiten des Kfz-Verkehrs führen würde. Einhergehend könnte so die mittlere Anzahl an Halten verringert und der gesamte CO₂- (und Schadstoff-) Ausstoß im Gebiet der Halberstädter Straße reduziert werden. Durch eine Koordinierung wird aber die Stellung des ÖPNVs geschwächt.

Die Ist-Situation, also die verkehrsabhängige Steuerung, führt insbesondere zu einer Priorisierung und Beschleunigung des ÖPNVs.

6.3 Fehlerbetrachtung

Die verschiedenen Simulationsszenarien enthalten unterschiedliche Annahmen und Vereinfachungen. Um den Ist-Zustand zu simulieren, können nur 2 von 5 originalen Schaltungen in die Simulation integriert werden. Auch wenn stattdessen optimierte Festzeitsteuerungen zur Anwendung kommen, können diese eine verkehrsabhängige Steuerung nicht ersetzen. Gerade in den ersten Simulationsminuten sind verkehrsabhängige Schaltungen wesentlich effizienter, weil die Zuflussraten niedriger sind. Es kann auf die individuellen Zuflussraten angemessen reagiert werden.

Um die Möglichkeit einer Koordinierung zu erproben, werden die Straßenbahnlinien 1 und 10 aus der Simulation entfernt. Auch die Fußgänger LSA Ambrosiusplatz wird für dieses Simulationsmodell deaktiviert. Dies führt zwangsweise zu einer Reduzierung der Halte und einer Abweichung der Reisezeiten.

Durch die Validierung soll sichergestellt werden, dass die Aussagen des Modells auf die Realität übertragbar sind. Als Validierungskriterium wurde eine Abweichung von $\pm 20\%$ der Simulationswerte angenommen. Die durchschnittliche Abweichung der Reisezeiten mit ca. 18,5 % bewegt sich nur knapp unter diesem geforderten Grenzwert.

Eine weitere Fehlerquelle ist die Genauigkeit der Modellierung in VISSIM. Im Modell verhalten sich die Fahrzeuge in bestimmten Situationen nicht realitätsgetreu. Verringert sich die Fahrbahn von zwei auf eine Spur, kann es zu einem Stau kommen, wenn sich die Fahrzeuge zu spät in die richtige Spur einordnen.

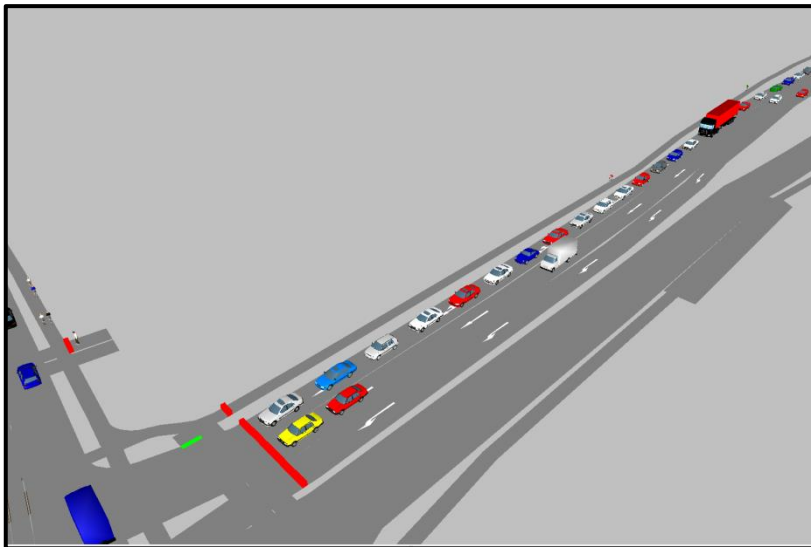


Abbildung 57. Probleme in der Zuflussmodellierung

Um unnötige Spurwechsel auf den Zuflusstraßen zu vermeiden, werden die Zuflüsse als einzelne Strecken und nicht als Doppelfahrsreifen modelliert. Durch die erste Routenentscheidung wird schon bei der Einfahrt des Fahrzeuges ins Netz festgelegt, auf welcher Spur das Fahrzeug den Knotenpunkt anfährt. Führen zwei Fahrstreifen geradeaus, wie in Abbildung 57 zu erkennen ist, wechseln die Fahrzeuge auf diesen Einfahrstrecken nicht die Fahrspur. So kann es dazu kommen, dass durch die stochastisch verteilten Zuflüsse eine Spur vollkommen belegt ist, die andere Spur dagegen kaum benutzt wird.

Ein weiteres Problem tritt dann auf, wenn Fahrzeuge von einer einspurigen auf eine zweispurige Strecke abbiegen. Während des Abbiegevorgangs kann die Spur nicht gewechselt werden. Dies führt gerade beim Linksabbiegeverkehr aus der Rottersdorfer Straße in die Halberstädter Straße dazu, dass die einzelnen Spuren nicht ökonomisch ausgenutzt werden. Abbildung 58 zeigt diesen Fall: Der rote Pkw könnte auf die rechte Spur ausweichen, um den vorhandenen Platz zu nutzen. Stattdessen bleibt das Fahrzeug auf der Kreuzung stehen und blockiert so die dahinter fahrenden Fahrzeuge. Daraus resultiert eine kurze Verzögerung für die Geradeausfahrer auf der Halberstädter Straße zur Folge, die warten müssen, bis die blockierenden Fahrzeuge die Kreuzung geräumt haben.

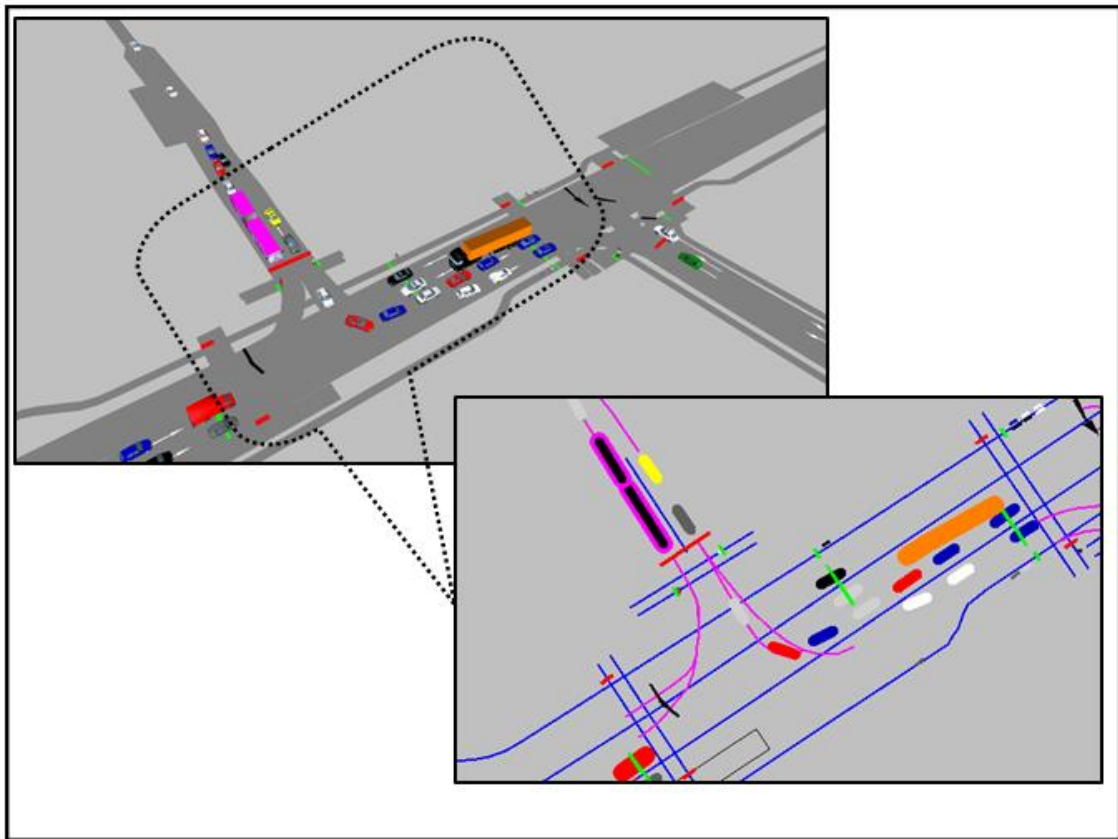


Abbildung 58. Modellierungsprobleme VISSIM

Durch die Komplexität des Modells dauern die Simulationsversuche sehr lange. Der Rechenaufwand ist sehr hoch, so dass es oftmals zu Softwarefehlern und „Abstürzen“ im Laufe der Simulation kommt. Mehr als drei bzw. vier Simulationsläufe am Stück sind mit der verwendeten Hardware nicht möglich. Spätestens im fünften Lauf ist das System überlastet und bricht ihn ab.

Die geringe Anzahl an Simulationsläufen führt zu einer relativ großen Standardabweichung bei allen erhobenen Messdaten. Um die Streuung der Werte zu verkleinern, müssten weitere Simulationsläufe durchgeführt werden. Im Rahmen dieser Arbeit ist das zeitlich nicht mehr möglich gewesen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Für die Halberstädter Straße wurde ein valides, makroskopisches Verkehrssimulationsmodell aufgebaut, mit dem verschiedene Szenarien simuliert werden können. Der Vergleich von Festzeitsteuerung, verkehrsabhängiger Steuerung und Koordinierung liefert unterschiedliche Aussagen über die Qualität des Verkehrsablaufes. Bei der verkehrsabhängigen Steuerung, die unter der Bedingung der absoluten ÖPNV-Bevorrechtigung geplant wurde, zeigt sich, dass diese Bevorrechtigung umgesetzt werden kann: Reise- und Verlustzeiten der Straßenbahnen können im Vergleich zur Festzeitsteuerung deutlich gesenkt werden.

Die Simulationsexperimente mit der Koordinierung stadtauswärts verdeutlichen, dass diese grundsätzlich funktionieren kann. So können die Reisezeiten stadtauswärts deutlich reduziert werden. Gerade im Hinblick auf eine Senkung der CO₂-Emission sowie der durchschnittlichen Anzahl an Halten führt eine Koordinierung zu einer Optimierung.

Es ist zu beachten, dass die Koordinierung nur unter bestimmten (vereinfachten) Rahmenbedingungen umgesetzt werden kann. Eine Koordinierung sollte nur geschaltet werden, wenn sich keine Straßenbahn auf dem Straßenabschnitt befindet: Jeder Halt führt zu einer Auflösung der Grünen Welle. Eine durchgängige Koordinierung ist daher nicht sinnvoll.

Es muss ein Kompromiss aus Koordinierung und verkehrsabhängiger Steuerung gefunden werden. Wenn Straßenbahnen auf der Halberstädter Straße fahren, muss die ÖPNV-Priorisierung vorrangig sein. Fährt in einem Abschnitt keine Straßenbahn, könnte eine Koordinierung auf den betroffenen Abschnitten geschaltet werden. Gerade in diesem Bereich bietet eine intelligente Koordinierung viel Forschungspotenzial, das - aufbauend auf der vorgestellten Simulation - untersucht werden sollte.

Um genaue Emissionsmessungen mit dem Modell durchzuführen, wird empfohlen, das (zusätzlich zu erwerbende) Emissions-Plug-In von VISSIM zu verwenden, um exaktere Aussagen über die Schadstoffemissionen zu treffen. Die in der Arbeit gewählte Lösung, über den knotenspezifisch ermittelten Kraftstoffverbrauch die CO₂-Emission zu

bestimmen, ist nicht hinreichend genau. Die berechnete Kohlenstoffdioxid-Emission muss noch validiert werden.

Grundlegend sollte für jede Lichtsignalanlage eine neue Zwischenzeitberechnung durchgeführt werden, um weitere Optimierungspotenziale aufzuzeigen.

Glossar

Definitionen entnommen aus [Fsv00]:

Bruttozeitlücke	Die Bruttozeitlücke umfasst den zeitlichen Abstand zwischen der Vorderseite eines voranfahrenden Fahrzeuges und der Vorderseite eines nachfolgenden Fahrzeuges.
Dauergrün	Grundstellung bei einer verkehrsabhängigen Signalsteuerung mit Freigabe ein oder mehrere Verkehrsströme, in die nach Beendigung anderer angeforderter Phasen zurückgeschaltet wird
Detektoren (Kenngrößenerfassung)	Stationäre Erfassung von Daten (Induktionsschleifen, Infrarotdetektoren und Videoerfassungssysteme..)
Einfahrweg	Weg zwischen Haltelinie und Beginn der Konfliktfläche
Einfahrzeit	Zeitdauer für das Zurücklegen des Einfahrwegs
Emission	Vom lat.: <i>emittere</i> „herausschicken, -senden“, deutsch Austrag oder Ausstoß, allgemein Aussendung von Störfaktoren in die Umwelt
Fahrzeugfolgemodell	Beschreibt das Fahrverhalten aus der Perspektive einzelner Fahrer bzw. von Fahrer-Fahrzeug-Einheiten
Freigabeanforderung	Anmelden des Bedarfs an Freigabezeit durch Verkehrsteilnehmer über Detektoren
Freigabesignal	Lichtsignal, welches das Befahren bzw. Betreten einer Verkehrsfläche erlaubt, die in der Regel mindestens eine Konfliktfläche enthält
Freigabezeit [Grünzeit]	Zeitdauer, während der ein Freigabesignal gegeben wird
Grünerlaubnisbereiche	Bereiche eines Signalprogramms, in denen die Signalgruppen eine Freigabe erhalten können

Grüne Welle	Koordinierte Signalsteuerung, bei der die Mehrzahl der Fahrzeugen bei Einhaltung einer empfohlenen Geschwindigkeit mehrere Knotenpunkte ohne Halt passieren kann
Grünstunde	Theoretischer Wert zur Berechnung der Sättigungsverkehrsstärke
Kalibrierung	Durch Vergleichen bestimmter Messdaten mit geeichten Normalen kontrollieren, prüfen und mit der Norm in Übereinstimmung bringen
Knotenpunkt	Ein Knotenpunkt im Straßenverkehr ist eine bauliche Anlage, die der Verknüpfung von Straßen oder Wegen dient. Es wird in Erschließungsstraßenknoten, Anschlussknotenpunkt und Verkehrsstraßenknotenpunkt unterschieden.
Konfliktfläche	Teilfläche einer Straßenverkehrsanlage, die aus der Überlagerung der Bewegungstreifen nicht verträglicher Verkehrsströme entsteht
Lichtsignalanlage	Kombination von Lichtsignalgebern und erforderlichen Betriebseinrichtungen zur Steuerung des Verkehrsablaufs
Lichtsignalgeber	Gerät, das über Leuchtfelder Lichtsignale gibt
Lichtsignalsteuerung:	Planmäßige Beeinflussung (Steuerung) des Verkehrsablaufes durch Lichtsignale
Mobilität	Beweglichkeit; Befriedigung des Bedürfnisses nach räumlicher Veränderung
Phase	Teil eines Signalprogramms, während dessen ein bestimmter Grundzustand der Signalisierung unverändert bleibt
Phasenfolgeplan	Möglichkeiten der Zeitlichen Abfolge der verschiedenen Phasen eines Signalprogramms
Phasenübergang	Teil eines Signalprogrammes für den Wechsel von einer Phase zur nachfolgenden

Progressionsgeschwindigkeit V_p	Die Progressionsgeschwindigkeit ist die Neigung der Mittellinie eines Grünbands zur Zeitachse im Zeit-Weg-Diagramm, damit die tatsächlich zu fahrende Geschwindigkeit, mit der die Lichtsignalanlagen im Zuge der grünen Welle ohne Halt passiert werden können
Räumweg	Weg zwischen der Haltelinie bzw. Anfang der Fußgängerfurt und dem Ende der Konfliktfläche, bei der Fahrzeugen verlängert um die Fahrzeuglängen
Räumzeit	Zeitdauer für das Zurücklegen des Räumweges
Sättigungsverkehrsstärke	Maximal mögliche Verkehrsstärke eines Fahrstreifens. Entspricht der Anzahl der Fahrzeuge, die innerhalb einer Grünstunde die Haltelinie der Signalzufahrt passieren könnten.
Signalgruppe	Signale, die zu jedem Zeitpunkt übereinstimmen
Signallageplan	Lageplan mit Eintragung der für die Lichtsignalsteuerung verkehrstechnisch erforderlichen Einrichtungen
Signalprogramm	Hinsichtlich Dauer und Zuordnung festgelegte Signalzeiten einer Lichtsignalanlage
Signalsteuerung, Festzeit	Lichtsignalsteuerung mit festgelegten Signalzeiten ohne Einwirkungsmöglichkeiten durch Verkehrsteilnehmer
Signalsteuerung, koordiniert	Lichtsignalsteuerung mit Abstimmung der Signalzeiten an benachbarten Knotenpunkten oder Teilknotenpunkten zur Berücksichtigung gegenseitiger verkehrstechnischer Abhängigkeiten
Signalsteuerung, verkehrsabhängig	Lichtsignalsteuerung, bei der das Signalprogramm von Verkehrsteilnehmern beeinflusst wird
Signalzeit	Zeitdauer, während der ein bestimmtes Lichtsignal gegeben wird

Signalzeitenplan	Grafische Darstellung des Signalprogramms im Zeitmaßstab
Simulation	<p>Prozess der Bildung einer Prognose eines Systems mit dynamischen, komplexen Prozessen, um mit experimenteller Hilfe innerhalb einer Modellebene das Systemverhalten rechnerisch abzuleiten.</p> <p>Nach Kohorst: <i>Unter einer Simulation versteht man den Prozess der Bildung einer Prognose mit Hilfe des Experimentierens innerhalb der Modellebene, also die Durchführung von ‚Versuchen‘ bzw. ‚(Hoch)-Rechnungen‘ in einem abstrakten Modell eines Systems. Ziel einer Simulation ist also die Analyse des (zukünftigen) Systemverhaltens.</i></p>
SITRAFFIC	Software der Firma Siemens zur unterschiedlichen Berechnung an Lichtsignalanlagen
Sperrsignal	Lichtsignal, welches das Befahren bzw. Betreten einer Verkehrsfläche verbietet, die in der Regel mindestens eine Konfliktfläche enthält
Sperrzeit [Rotzeit]	Zeitdauer, während der ein Sperrsignal gegeben wird
Stickoxide	Gasförmige Oxide des Stickstoffs; allgemeine Formel NO_x
Spurwechselmodell	Beschreiben das Spurwechselverhalten aus der Perspektive einzelner Fahrer bzw. von Fahrer-Fahrzeug-Einheiten
Überfahrzeit	Für die Berechnung der Zwischenzeit gewählte bzw. festgesetzte Zeitdauer zwischen Ende der Freigabezeit und Beginn der Räumzeit
Übergangssignal	Lichtsignal zur Vorbereitung auf ein nachfolgendes Signal („gelb“, „rot und gelb“ oder „Halt zu erwarten“ nach BOStrab)
Übergangszeit [Gelbzeit, Rotgelbzeit]	Zeitdauer, während der ein Übergangssignal gegeben wird (Gelbzeit und Rotgelbzeit)

Umlauf	Einmaliger Ablauf des Signalprogramms
Umlaufzeit	Zeitdauer des einmaligen Ablaufes eines Signalprogramms
Validierung	von lat.: <i>validus</i> : <i>stark, wirksam, gesund</i> ; ist der Nachweis der Reproduzierbarkeit eines Ergebnisses aus einer beschriebenen Vorgehensweise unter definierten Bedingungen
Verkehrsinfrastruktur	Verkehrswege, Verkehrsstationen (z. B. Umschlagplätze) und Verkehrsanlagen (Anlagen zur Sicherung und Lenkung des Verkehrs)
Verkehrssimulation	Realitätsnahe Modellierung zur Abbildung von Verkehrsflüssen. Das Verhalten von Verkehrsteilnehmern auf einem Streckennetz wird abgebildet
Verkehrssimulation, makroskopisch	Makroskopische Simulationsmodelle gehen von der Modellvorstellung aus, dass die Fahrzeuge gedanklich „verflüssigt“ oder „verdampft“ werden. Dadurch wird ein Übergang auf eine kontinuierliche Verkehrsströmung erreicht, die in der Analogie zur Fluiddynamik formuliert werden kann
Verkehrssimulation, mesoskopisch	Makroskopische Modelle haben eine fahrzeugfeine Auflösung, aber gegenüber den mikroskopischen bleibt der Ansatz deutlich einfacher (geringerer Rechenaufwand)
Verkehrssimulation, mikroskopisch	Mikroskopische Simulationsmodelle stellen den natürlichen Zugang zur dynamischen Verkehrsmodellierung dar und setzen die Identifizierbarkeit der betrachteten Fahrzeuge voraus.
Verkehrszusammensetzung	Anteil der verschiedenen Fahrzeugkategorien im Verkehr

VISSIM	Akronym von V erkehr in S tädten – S imulations M odell VISSIM ist eine mikroskopische, multi-modale Verkehrsfluss-Simulations-Software. Hersteller ist die PTV Planung Transport Verkehr AG in Karlsruhe
Zeitbedarfswert t_B	Zeit, die rückgestaute Kraftfahrzeuge innerhalb eines Fahrstreifens benötigen, um abzufließen.
Zwischenzeit	Nach RiLSA: Zeitdauer zwischen dem Ende der Freigabezeit eines Verkehrsstroms und dem Beginn der Freigabezeit eines anschließend freigegebenen nicht oder bedingt verträglichen Verkehrsstroms

Literaturverzeichnis

- [Bar10] **Barthauer, M. (2010):** Bewertung des Verkehrsablaufs am Knotenpunkt Altewiekring/Kastanienallee in Braunschweig mit VISSIM, Bachelorarbeit, Braunschweig, 2010
- [Bec99] **Becker, U.; Gerike, R.; Völlings, A. (1999):** Gesellschaftliche Ziele von und für Verkehr, in: Schriftenreihe des Instituts für Verkehr und Umwelt e.V. (DIVU), Heft 1, Dresden, 1999, S. 71
- [Bos07] **Bosserhoff, D. (2007):** Handbuch für Verkehrssicherheit und Verkehrstechnik der Hessischen Straßen und Verkehrsverwaltung – Kapitel 4.5 Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen, Wiesbaden, 2007
- [Bos207] **Bosserhoff, D. (2007):** Handbuch für Verkehrssicherheit und Verkehrstechnik der Hessischen Straßen und Verkehrsverwaltung – Kapitel 5.1 Koordinierung von Lichtsignalanlagen, Wiesbaden, 2007
- [Brn13] **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (o. D.):** Verkehr und Umwelt – Herausforderungen, URL: www.bmu.de/P1354/, o. D., Stand: 15.01.2013
- [Bpb09] **Bundeszentrale für politische Bildung (2009):** Duden Wirtschaft von A bis Z: Grundlagenwissen für Schule und Studium, in: Beruf und Alltag, 4. Auflage Mannheim: Bibliographisches Institut 2009, Lizenzausgabe Bonn, 2009
- [Bsw05] **Bundesanstalt für Straßenwesen (2005):** Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 2005, S. 3
- [Col06] **Columbia River Crossing project (2006):** VISSIM Calibration and Validation – Technical Report, Columbia, 2006
- [Det10] **Detering, S. (2010):** Kalibrierung und Validierung von Verkehrssimulationsmodellen zur Untersuchung von Verkehrsassistenzsystemen, Dissertation, Braunschweig, 2010
- [Erl07] **Erlemann, K. (2007):** Objektorientierte mikroskopische Verkehrsflusssimulation, Dissertation, Bochum, 2007

- [Fel10] **Fellendorf, M.; Vortisch P. (2010):** Fundamentals of Traffic Simulation; Chapter 2. Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM, Springer, 2010, S. 74
- [Fis07] **Fischer, C. (2007):** Modelltechnische Parameter in der Mikrosimulation, Diplomarbeit, Zürich 2007
- [Fsv00] **Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2005):** Verkehrsplanung, Straßenentwurf und Straßentrieb, FGSV Verlag GmbH, Köln, 2000
- [Fsv05] **Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2005):** HBS Ausgabe 2001, FGSV Verlag GmbH, Köln, 2005
- [Fsv10] **Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2010):** RiLSA 2010, Arbeitsgruppe Verkehrsmanagement, FGSV Verlag GmbH, Köln, 2010
- [Fri00] **FRIEDRICH, B. (2000):** Steuerung von Lichtsignalanlagen, BALANCE - ein neuer Ansatz, in: Straßenverkehrstechnik Nr. 7, Kirschbaum Verlag, Bonn, 2000
- [Gaz61] **Gazis, D. C.; Herman R.; Rothery R.W. (1961):** Nonlinear Follow-The-Leader Models of Traffic Flow, in: Operation Research, Vol.9, No. 4, 1961
- [Hau87] **HAUFF, V. (1987):** Unsere gemeinsame Zukunft - Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung, Greven, 1987
- [Hel13] **Helmers, Prof. Dr. E. (o. D.):** Interview, URL: <http://www.elektroauto-start.de/wissen/ein-verbrennungsmotor-kann-niemals-emissionsfrei-sein>, o. D., Stand 17.01.2013
- [Ihk13] **Industrie und Handelskammer (2013):** VERKEHR Mobilität erhalten, Engpässe beseitigen, Gera, 2013
- [Kni05] **Kniebernegg, G. (2005):** Inkrementelle Verkehrsnachfragemodellierung mit Verhaltensparametern der Verkehrsmittelwahl im Personenverkehr, Dissertation, Graz, 2005
- [Kob07] **Kobbeloer, D. (2007):** Dezentrale Steuerung von Lichtsignalanlagen, Dissertation, Kassel, 2007
- [Koh96] **Kohorst, H. (1996):** Internet-Glossar, URL: <http://www.kohorst-lemgo.de/modell/bevchina/glossar.htm>, 1996, Stand 27.02.2013

- [Kue06] **Kühn, W. (2006):** Digitale Fabrik – Fabriksimulation für Produktionsplaner, Carl Hanser Verlag, München, 2006, S. 46
- [Kuh12] **Kuhlmey, H. (2012):** Kalibrierung und Validierung eines mikroskopischen Simulationsprogramms anhand signalisierter städtischer Knotenpunkte, Diplomarbeit, Dresden, 2012
- [LigPtI55] **Lighthill, M. J.; Whitham, G. B. (1955):** On kinematic waves, Pt I, Flood movement in long rivers, Proc Roy. Soc. of London, London, 1955
- [LigPtII55] **Lighthill, M. J.; Whitham, G. B. (1955):** On kinematic waves, Pt II, A theory of traffic flow on long crowded roads, Proc Roy. Soc. of London, London, 1955
- [Mvb13] **Magdeburger Verkehrsbetriebe (2013):** Fahrzeugflotte, URL: <http://www.mvbnet.de/unternehmen/zahlen-fakten/fahrzeugflotte/>, Stand: 17.02.2013
- [Nie01] **Nielsen, S. M. (2001):** Beiträge des Verkehrssystem-Managements zum stadtverträglichen Straßenverkehr - Straßenbenutzungsabgaben, Zufahrtbeschränkung und elektrisch angetriebene Stadtautos im Vergleich, Dissertation, Berlin , 2001, S. 155
- [Ott11] **Otto, T. (2011):** Kooperative Verkehrsbeeinflussung und Verkehrssteuerung an signalisierten Knotenpunkten, in: Schriftreihe Verkehr, Heft 21, kassel university Press GmbH, Kassel, 2011, S. 6
- [Pre07] **Precht, M.; Kraft, R.; Bachmaier, M. (2007)** Angewandte Statistik 1, 7. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München – Wien, 2007, S. 23
- [Ptv11] **PTV AG (2011):** Benutzerhandbuch VISSIM Version 5.40, Karlsruhe, 2011
- [Reu50] **Reuschel, A. (1950):** Fahrzeugbewegungen in der Kolonne bei gleichförmig beschleunigtem oder verzögertem Leitfahrzeug, in: Z. d. Österreichisches IngenieurArchiv Ver. 95, 1950
- [Ros01] **Rose, M. (2001):** Makroskopische Simulation der Verkehrsabläufe auf Autobahnen, Hannover, 2001
- [San10] **Sandmann, W. (2010):** Modellierung und Analyse, Bamberg, 2010
- [She10] **Shell (2010):** Shell Lkw-Studie - Fakten, Trends und Perspektiven im Straßengüterverkehr bis 2030, Hamburg, 2010, S. 14

- [Smd12] **Stadt Magdeburg (2012):** EnergieEffiziente Stadt – Modellstadt für Erneuerbare Energien (MD-E4), URL: <https://www.wettbewerb-energieeffiziente-stadt.de/umsetzungsprojekte-der-wettbewerbsgewinner/magdeburg/>
Stand 20.02.2013
- [Spa78] **Sparmann, U. (1978):** Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik - Bd. 263: Spurwechselvorgänge auf zweispurigen BAB-Richtungsfahrbahnen, Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau, 1978
- [Wie74] **Wiedemann, R. (1974):** Simulation des Straßenverkehrsflusses, Habilitationsschrift, Karlsruhe, 1974

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ort, Datum

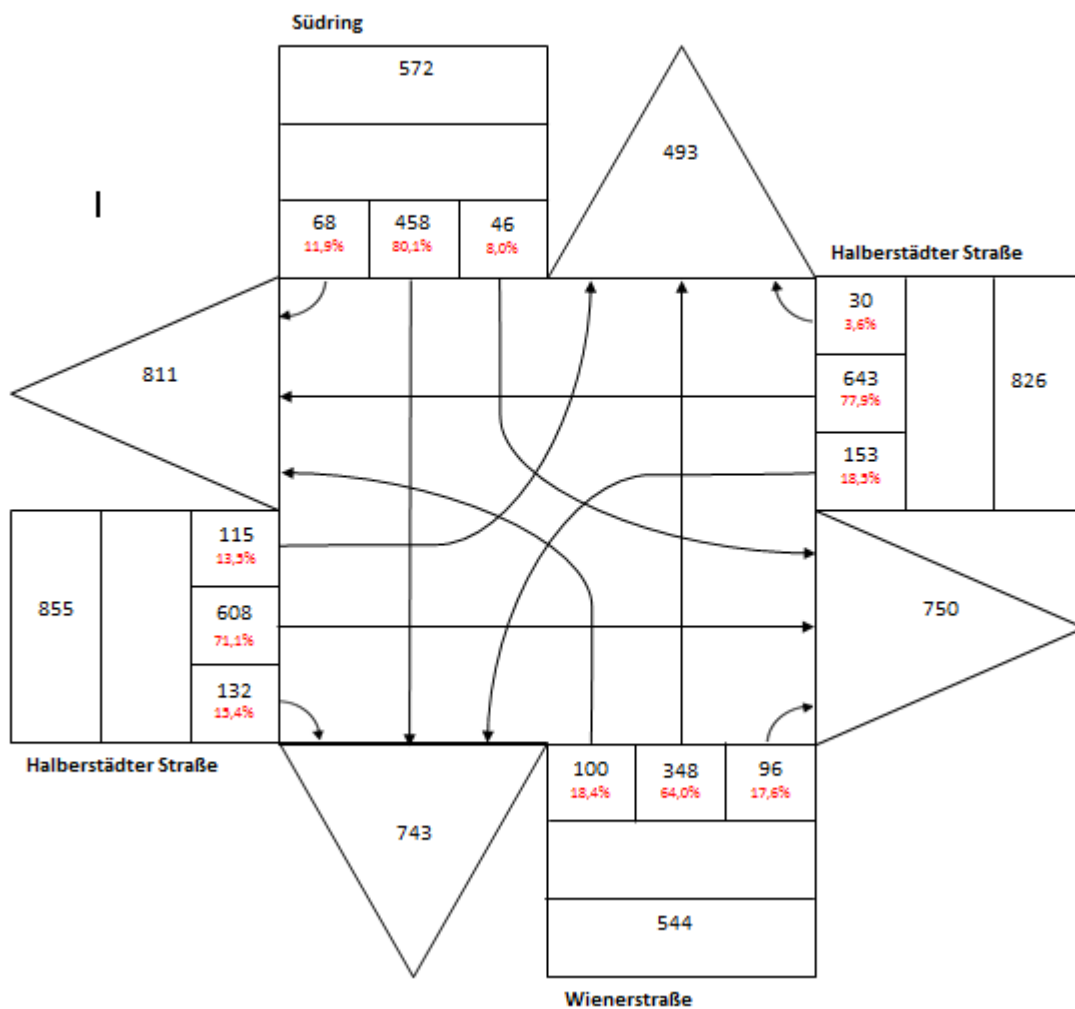
Unterschrift

Anhang A

Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Südring, Wienerstraße

Datum: aus Umlegung geschätzt

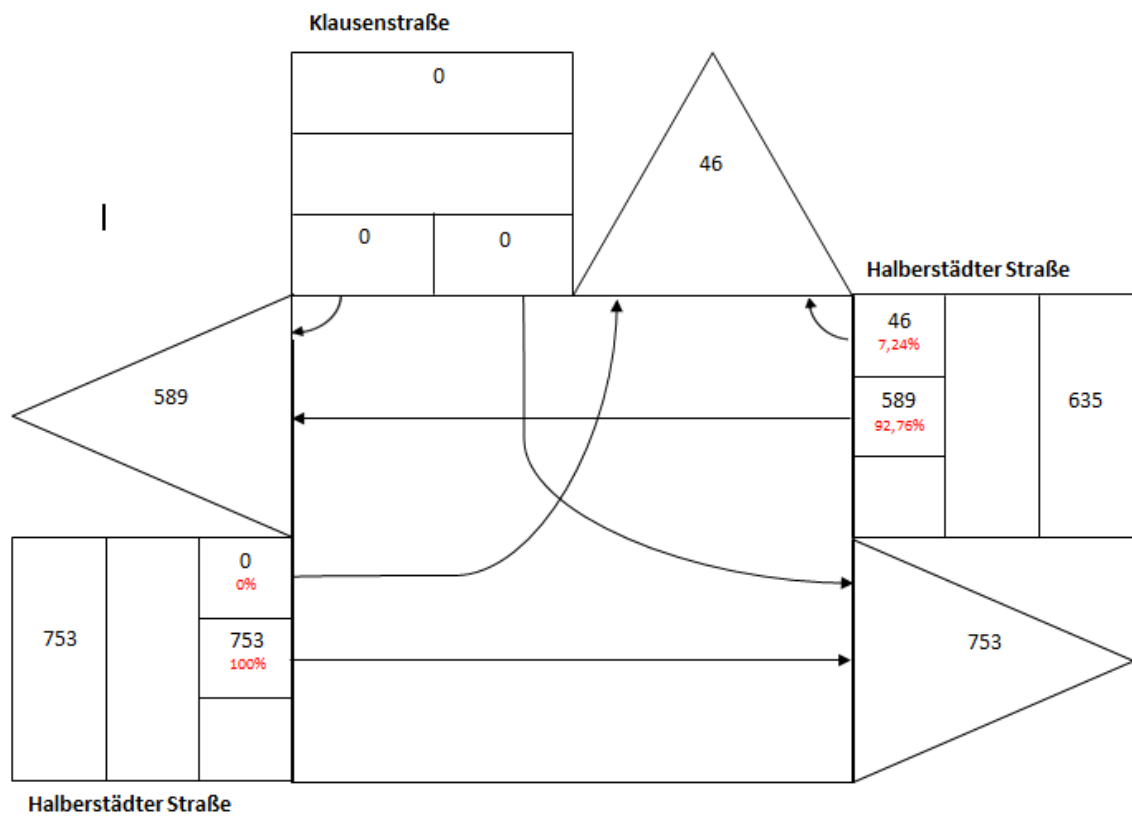
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Klausenstraße

Datum: aus Umlage

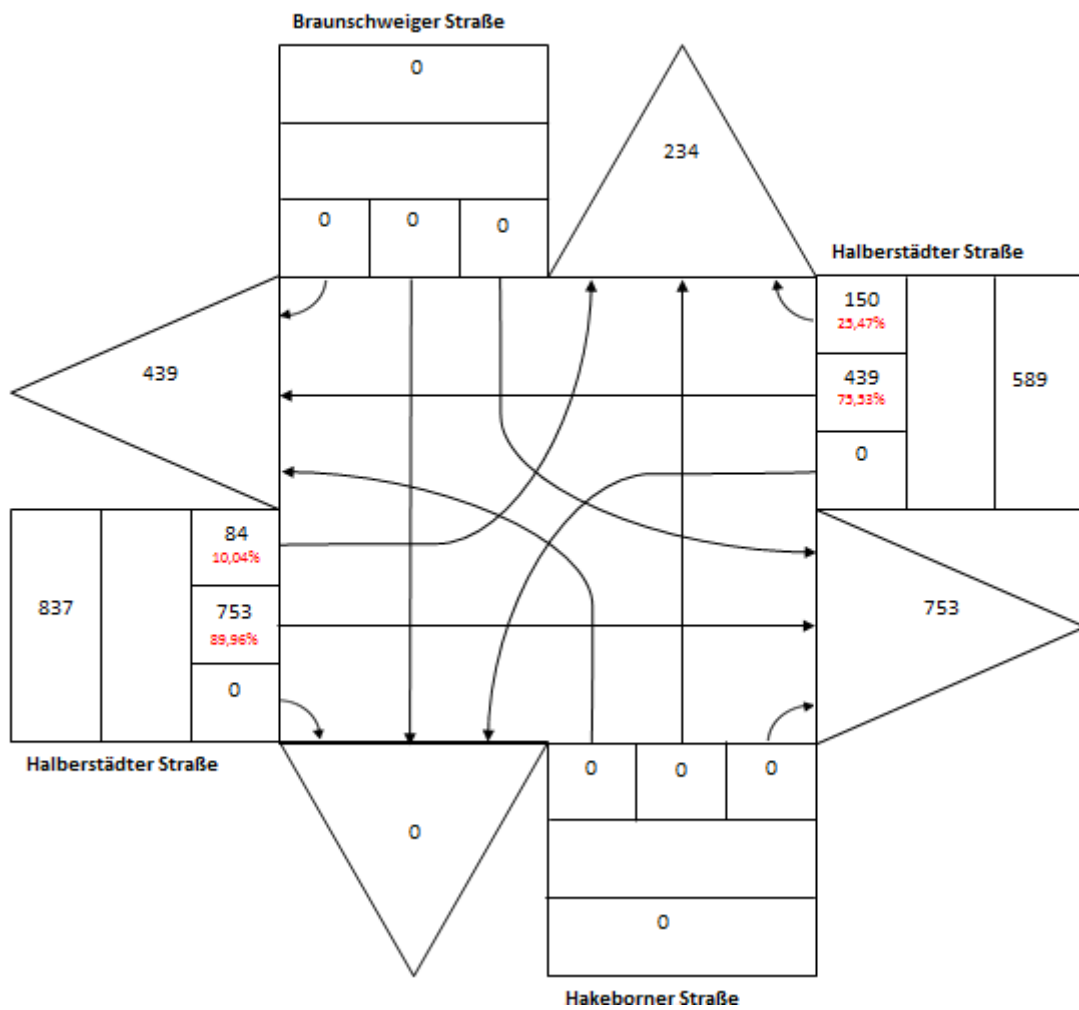
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Braunschweiger Straße, Hakeborner Straße

Datum: aus Umlegung geschätzt

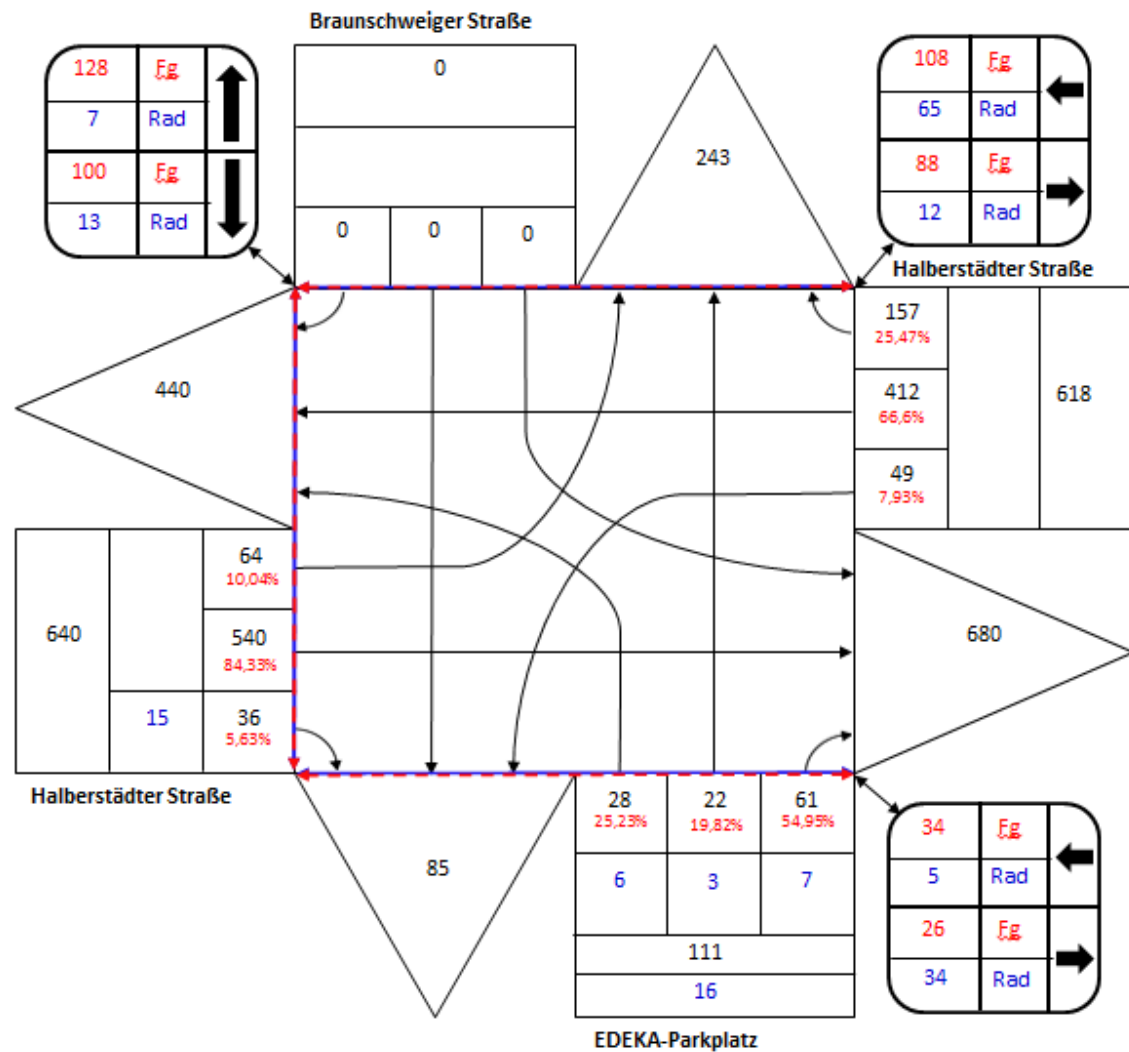
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Braunschweiger Straße, Hakeborner Straße

Datum: aus Erhebung vom 01.11.2012 und Umlage

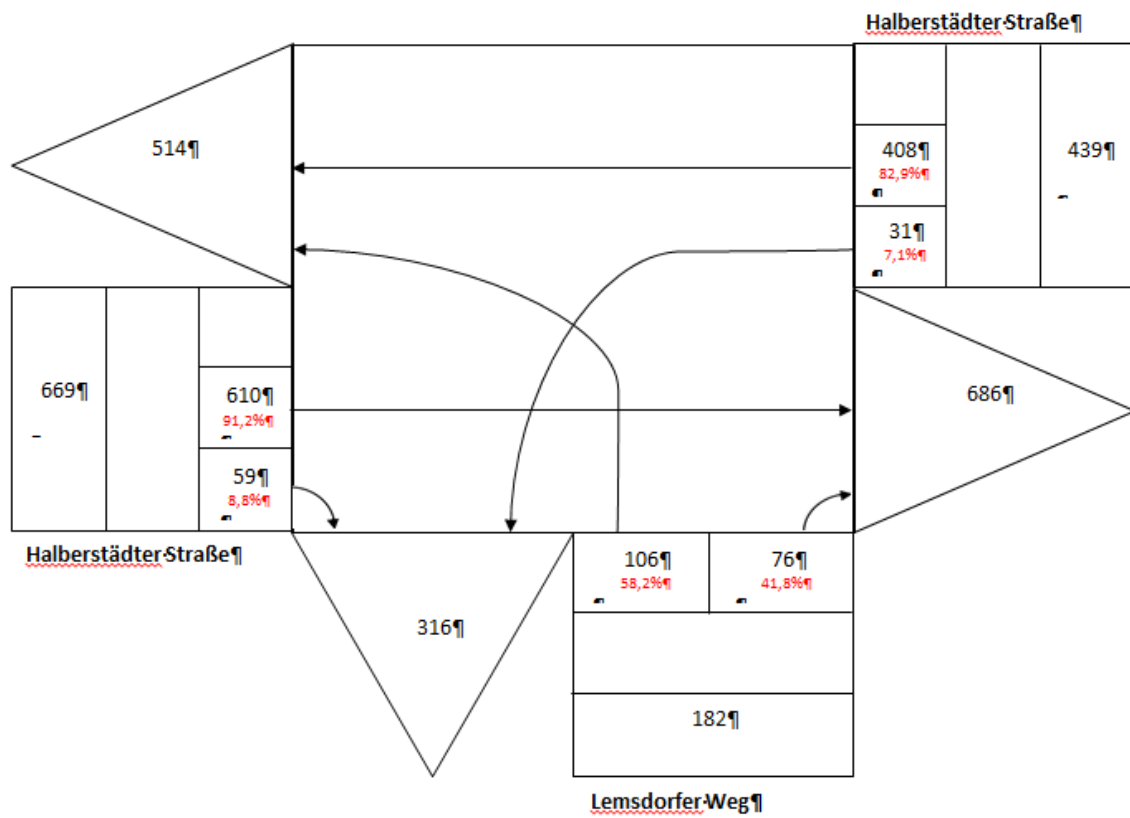
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Lemsdorfer Weg

Datum: aus Umlegung

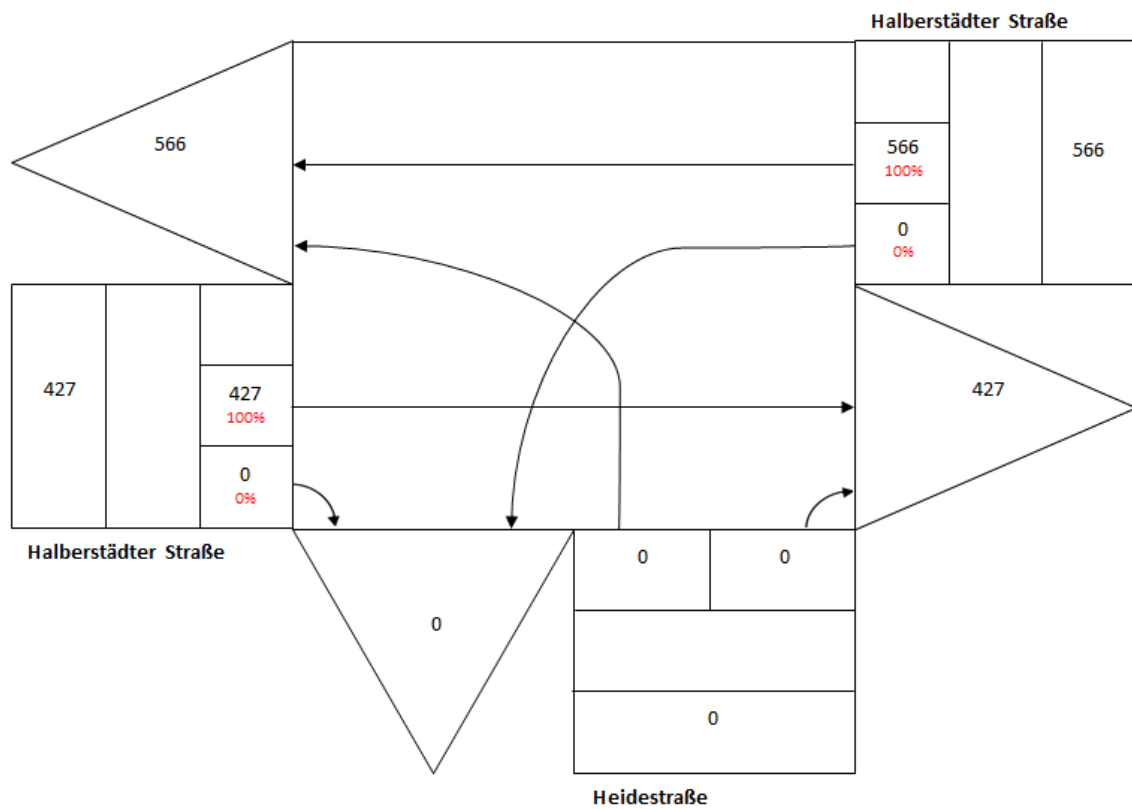
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Heidestraße

Datum: aus Umlegung

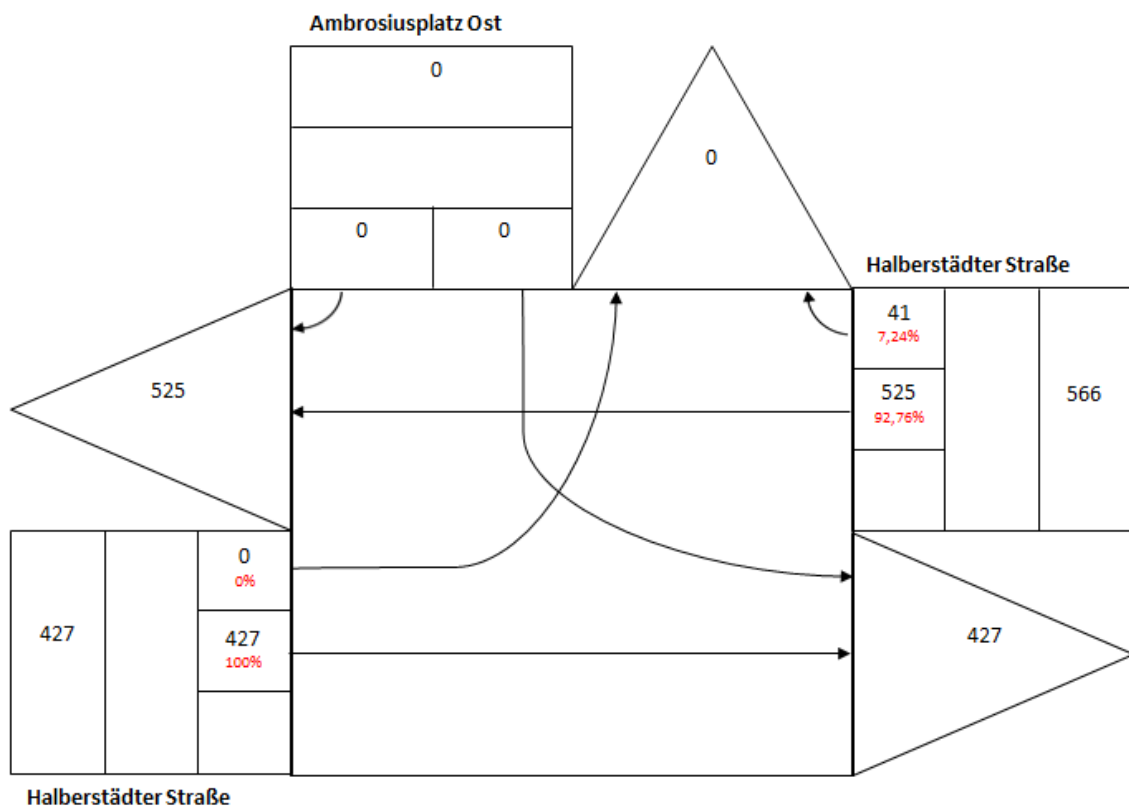
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Ambrosiusplatz Ost

Datum: aus Umlegung

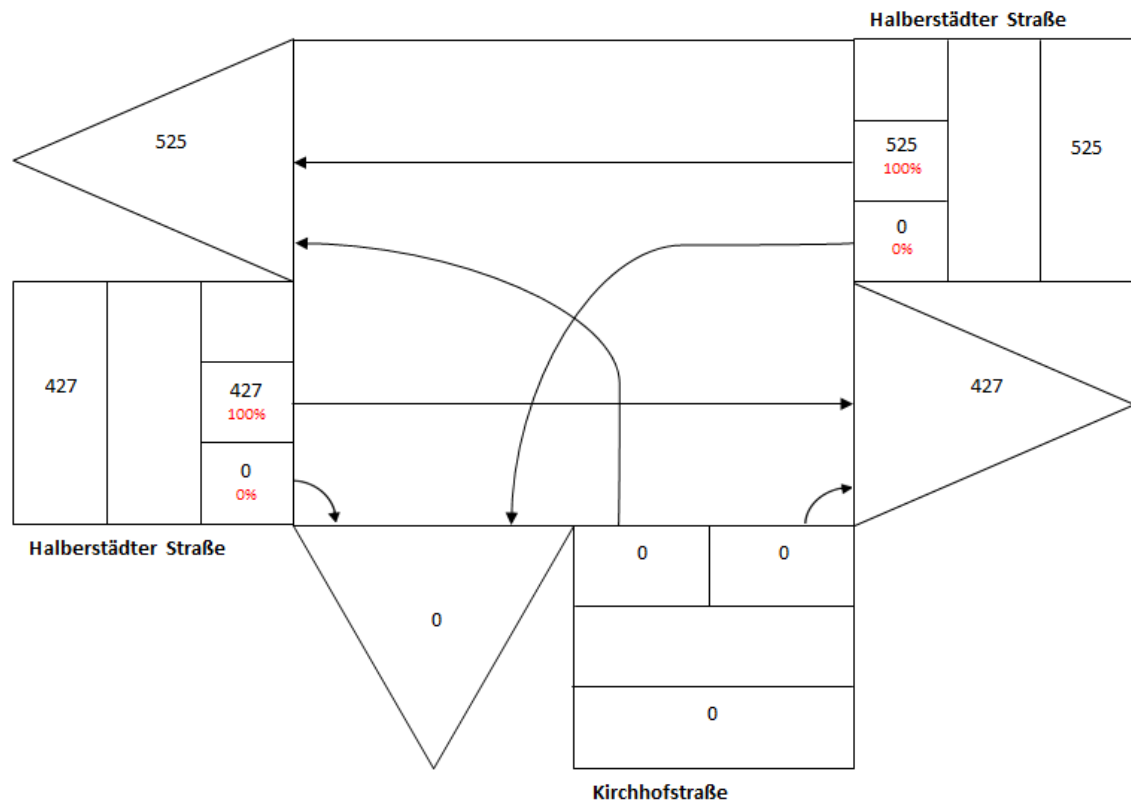
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Kirchhofstraße

Datum: aus Umlegung

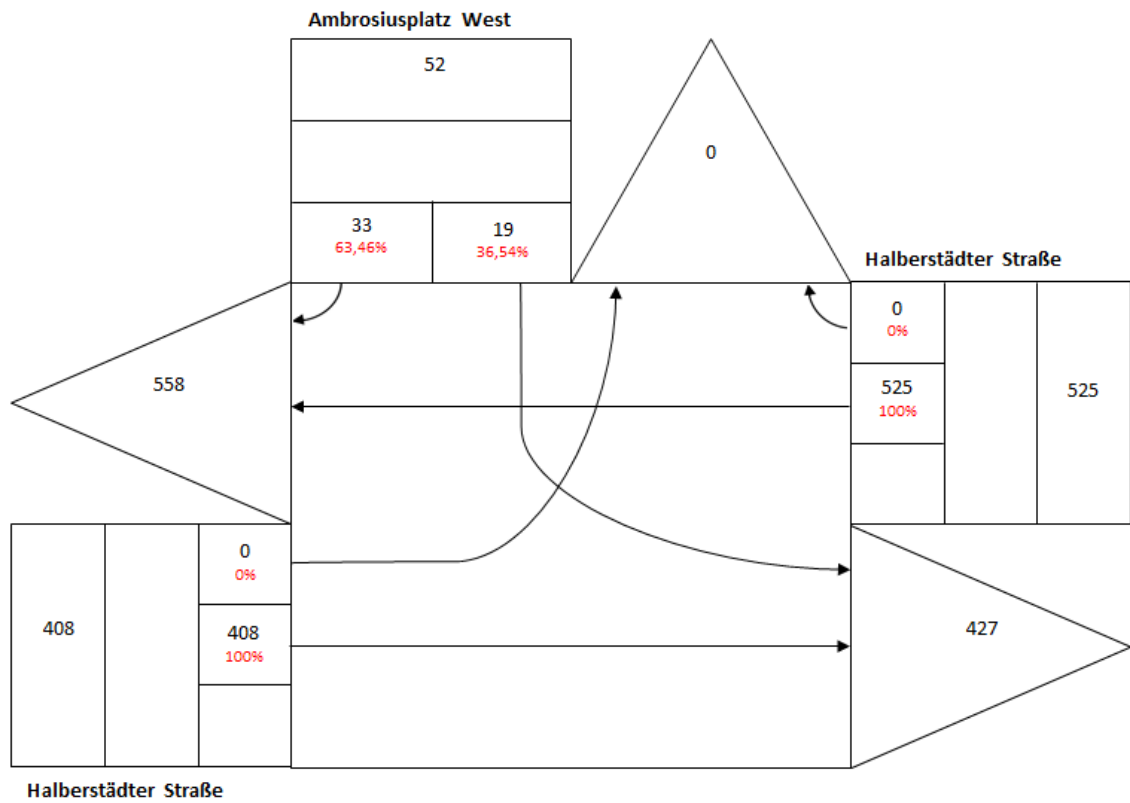
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Ambrosiusplatz West

Datum: aus Umlegung

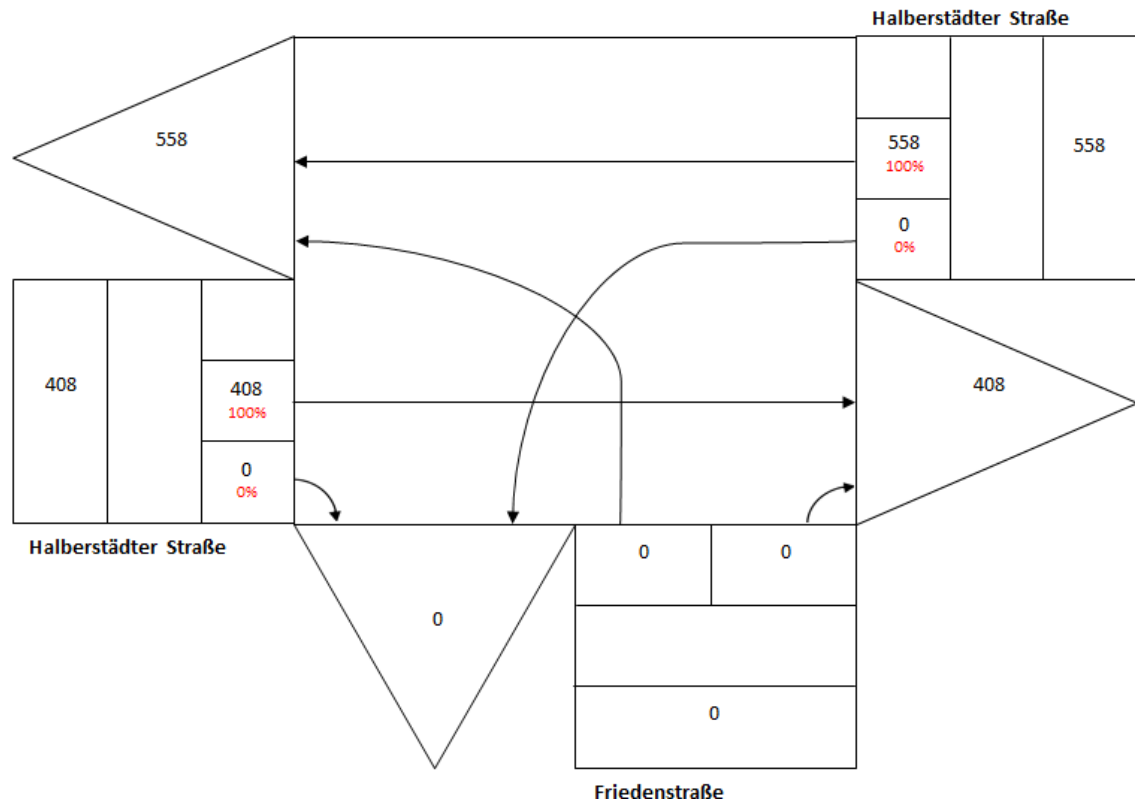
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Friedenstraße

Datum: aus Umlegung

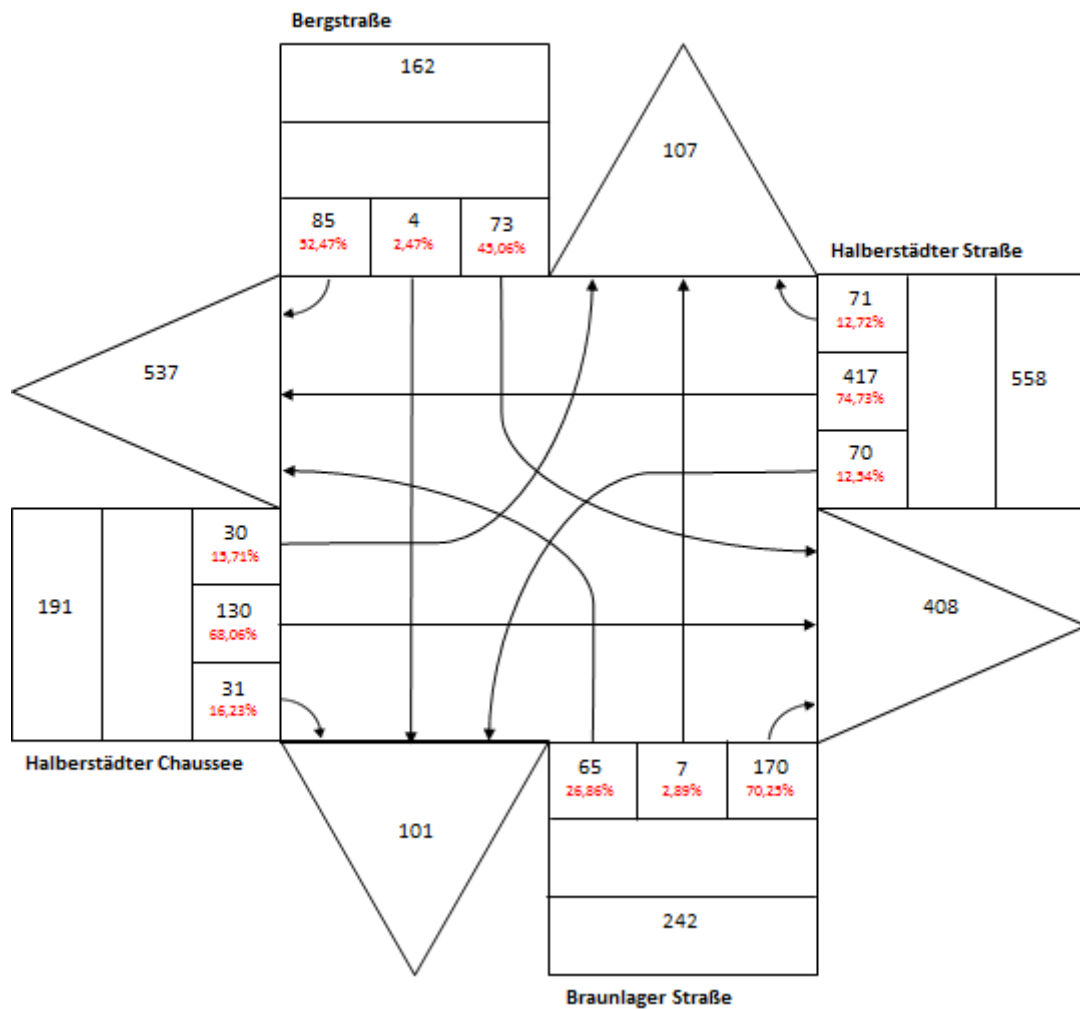
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Chaussee / Bergstraße, Braunlager Straße

Datum: aus Umlegung geschätzt

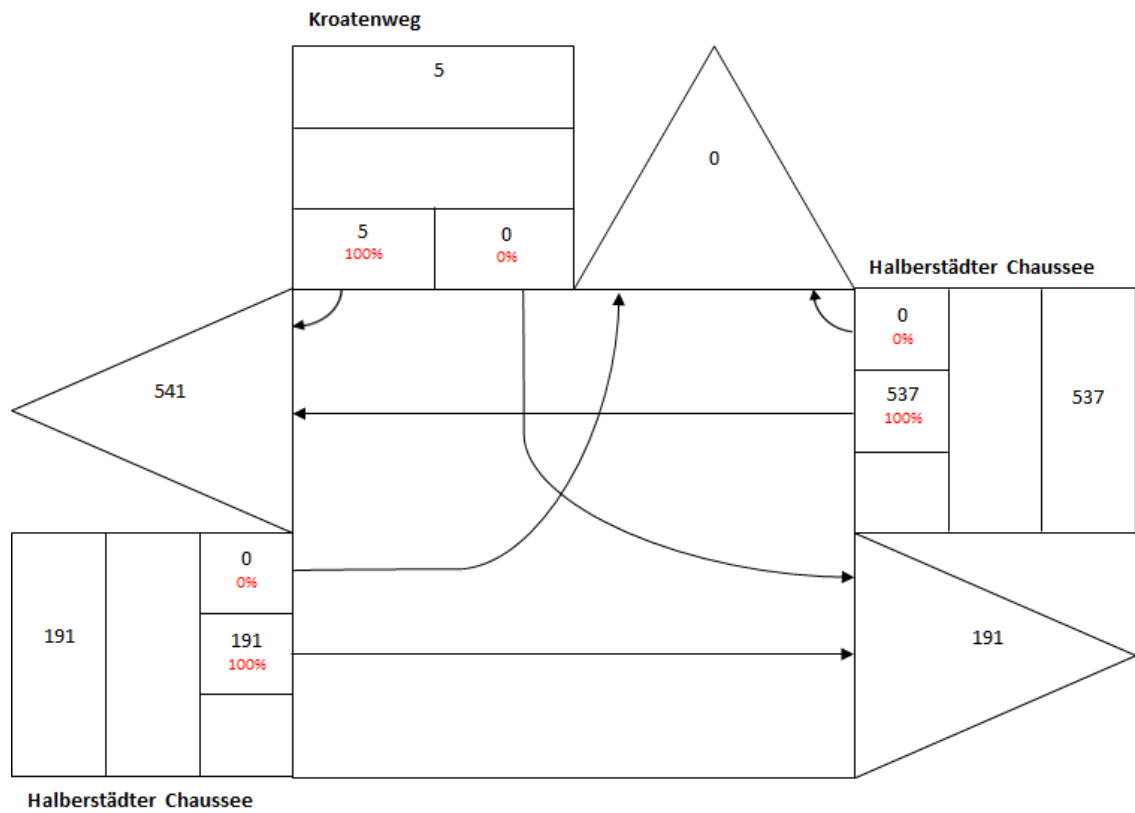
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Chaussee / Kroatenweg

Datum: aus Umlegung

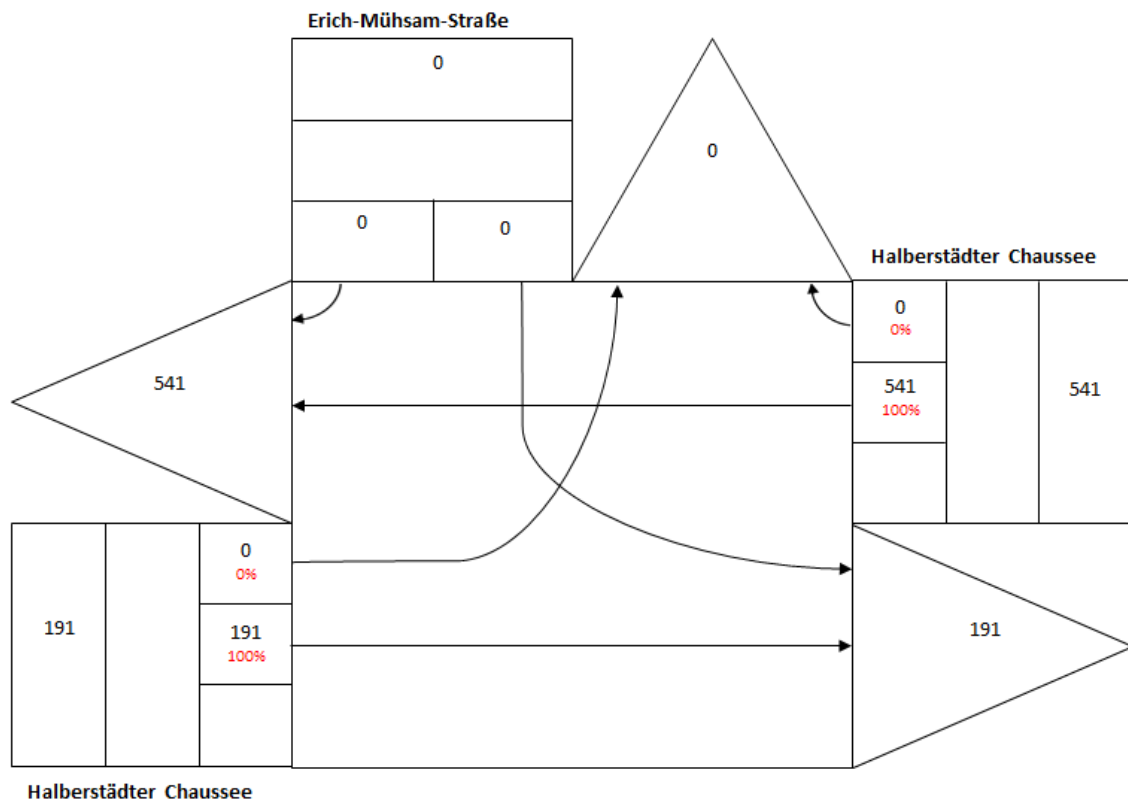
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Chaussee / Erich-Mühsam-Straße

Datum: aus Umlegung

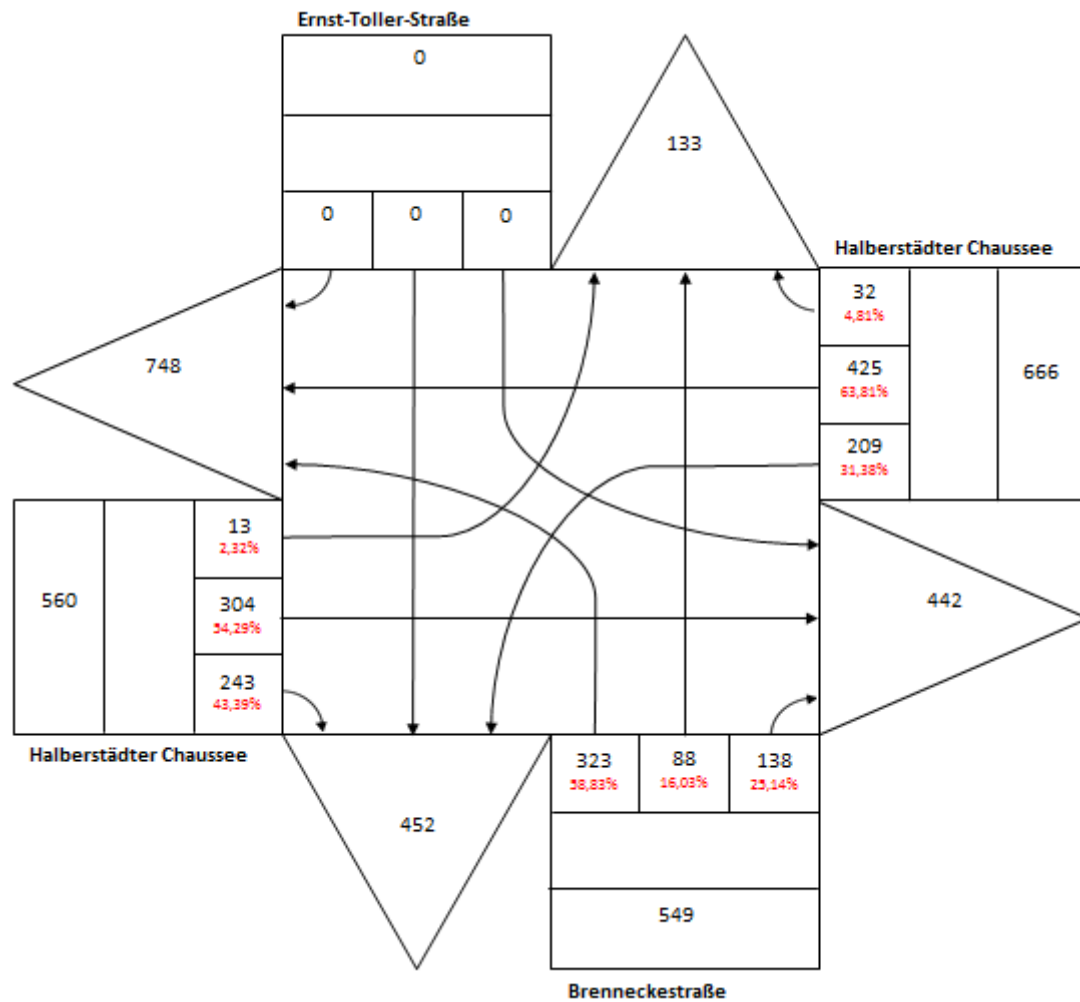
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Chaussee / Brenneckestraße

Datum: Aus Erhebung: 27.09.2012

Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr

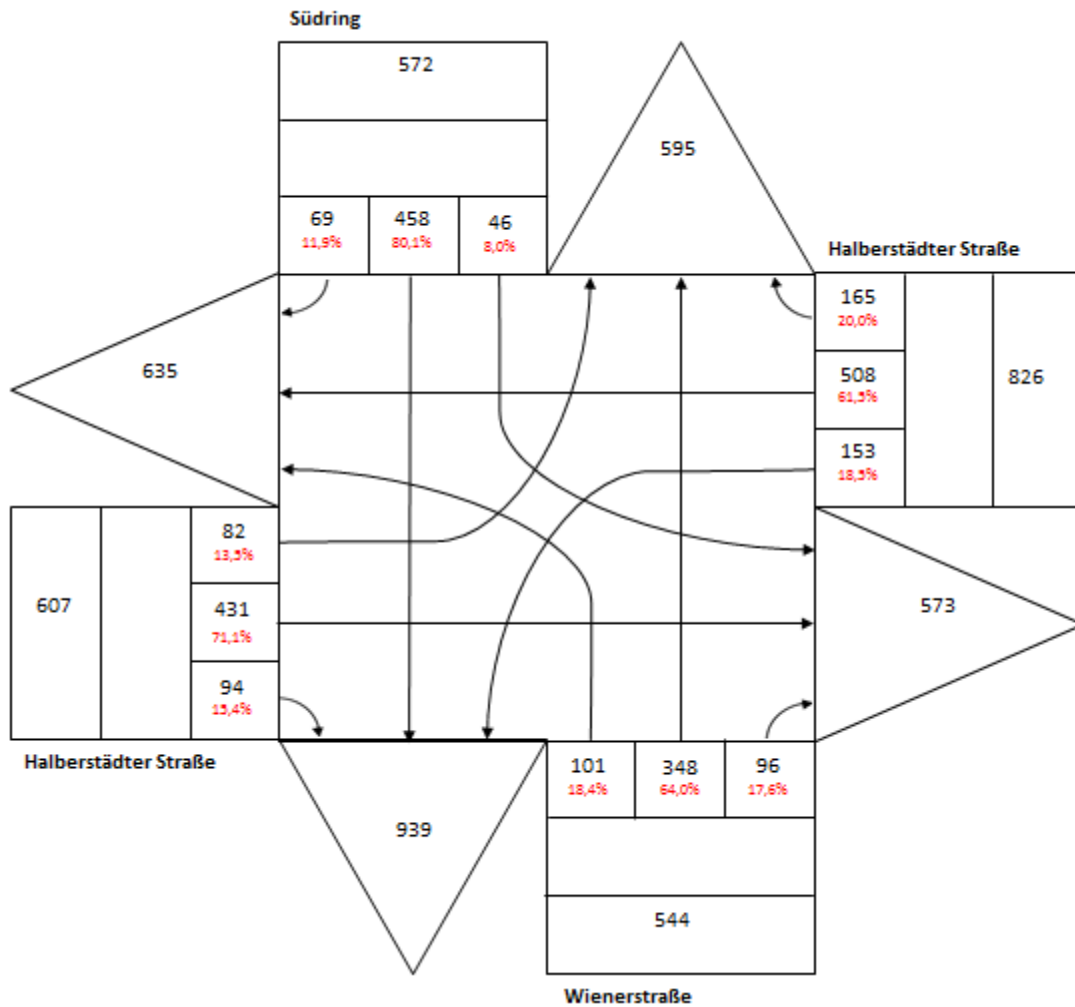


Anhang B

Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Südring, Wienerstraße

Datum: kalibriert

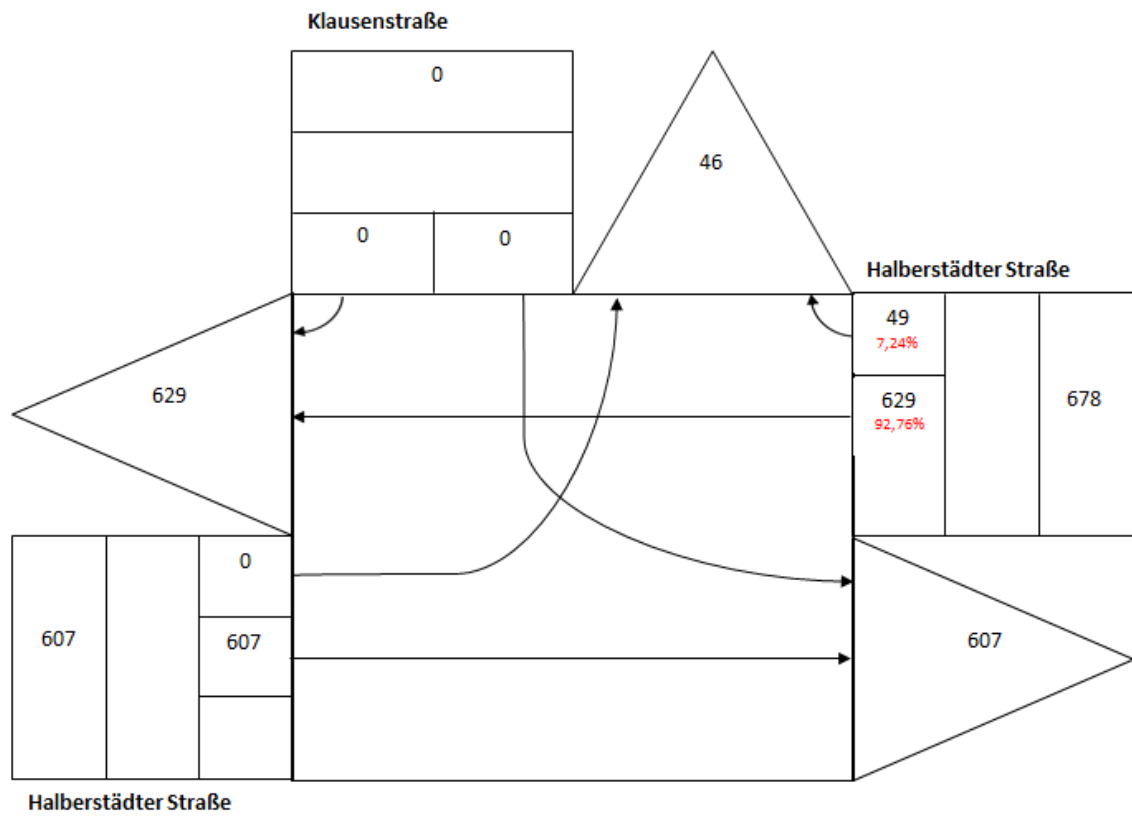
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Klausenstraße

Datum: kalibriert

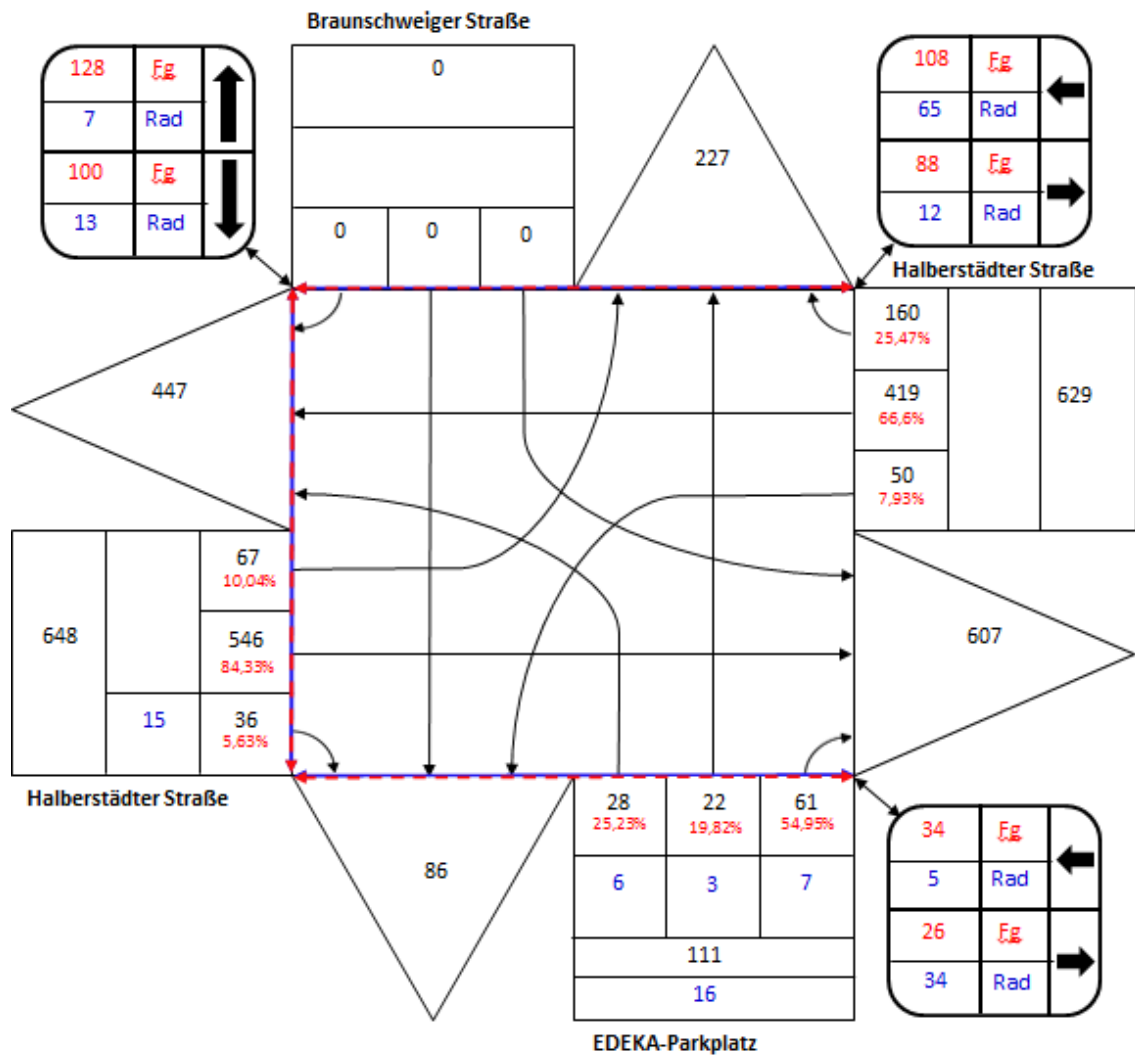
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Braunschweiger Straße, Hakeborner Straße

Datum: kalibriert

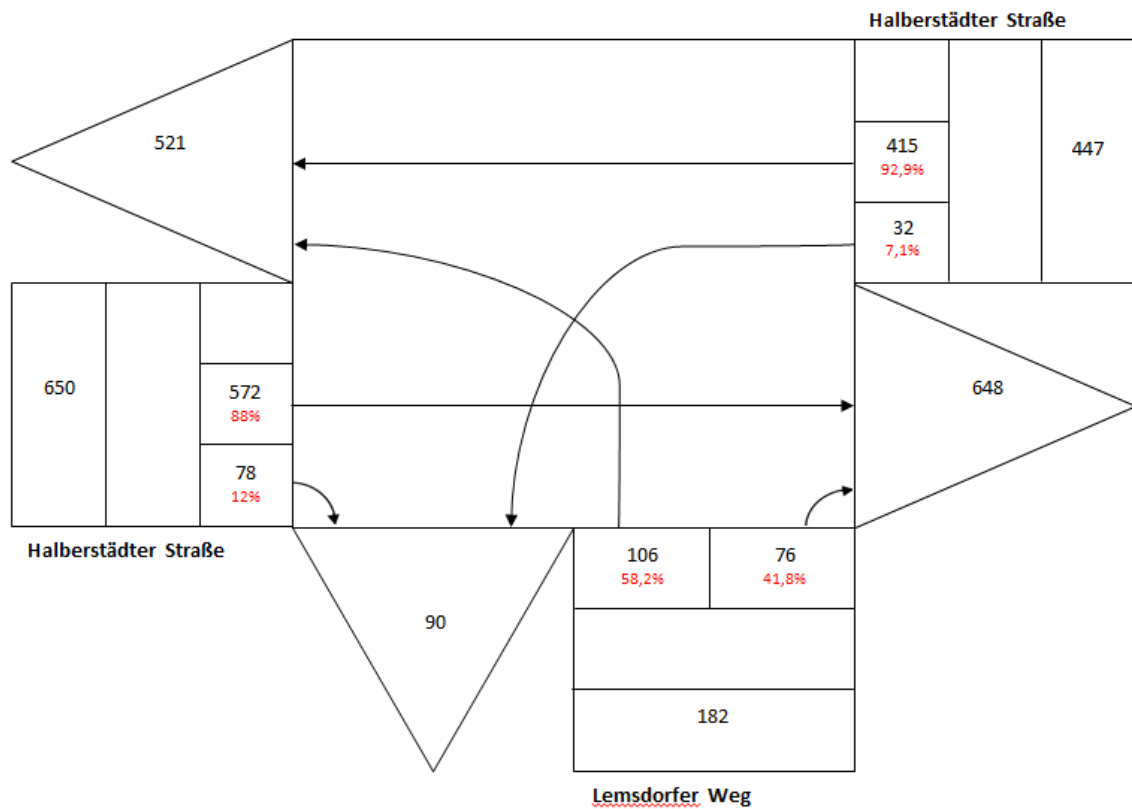
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Lemsdorfer Weg

Datum: kalibriert

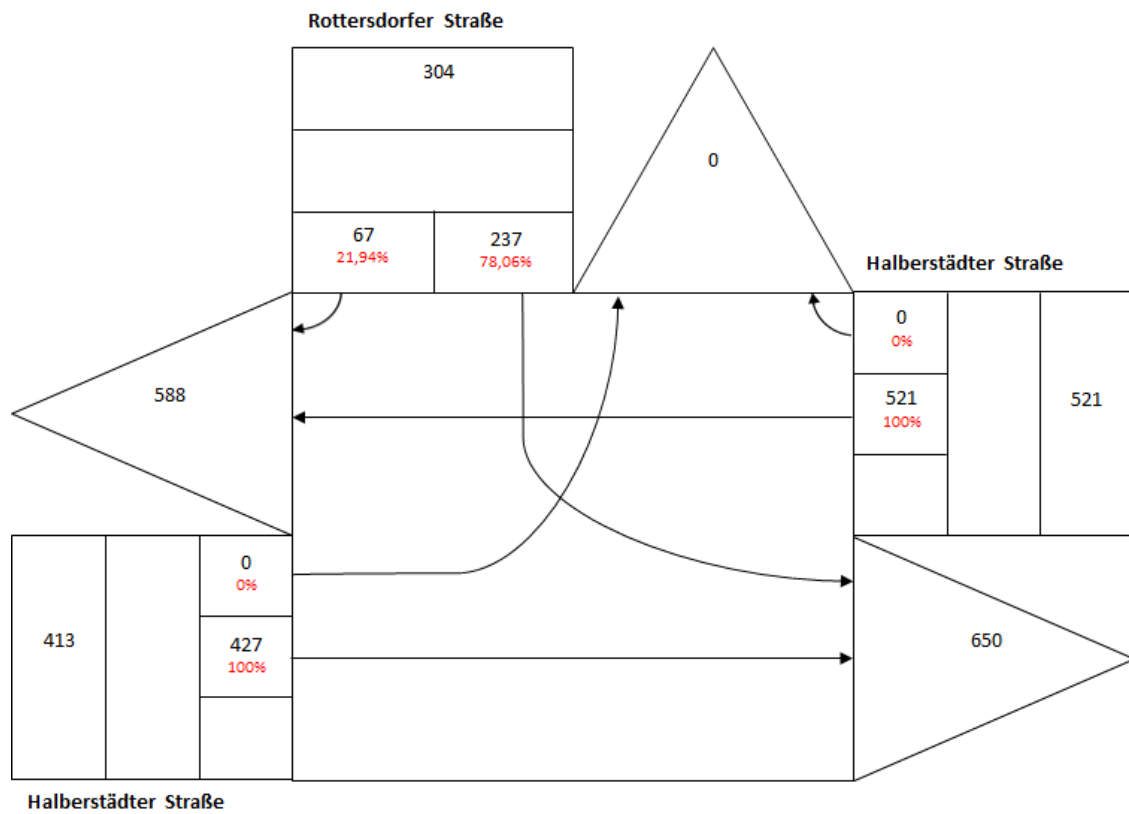
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Rottersdorfer Straße

Datum: kalibriert

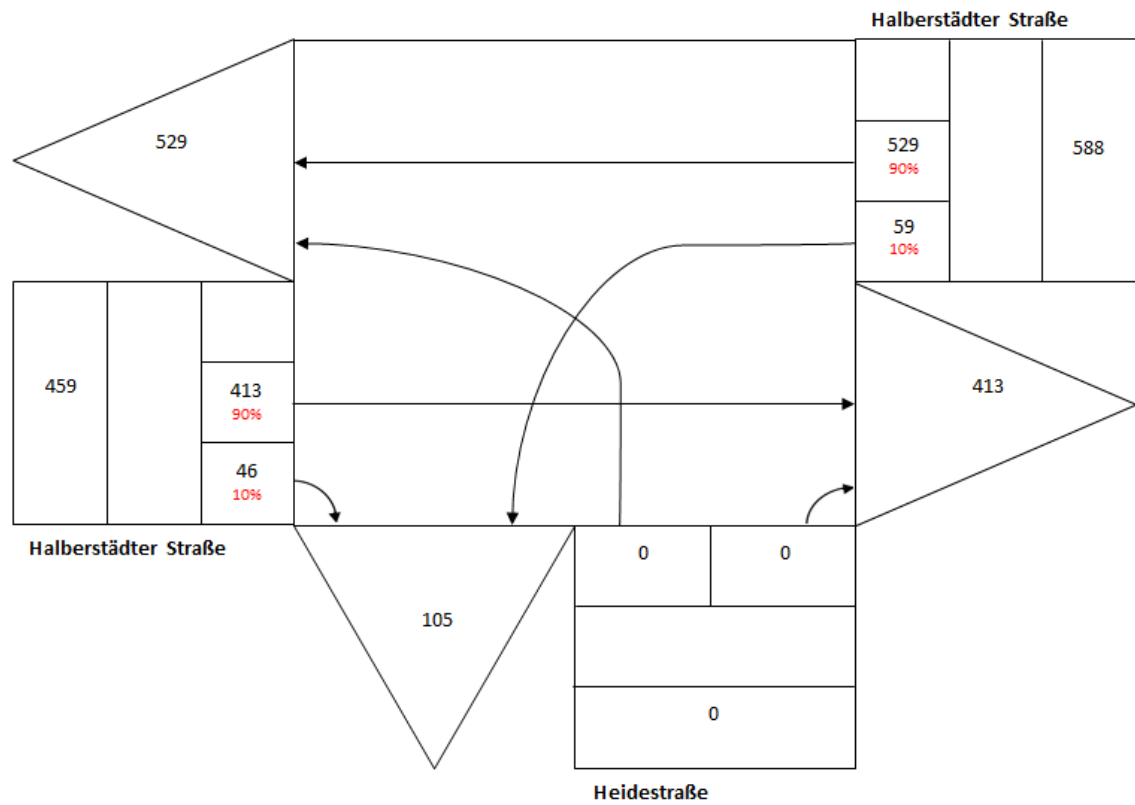
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Heidestraße

Datum: kalibriert

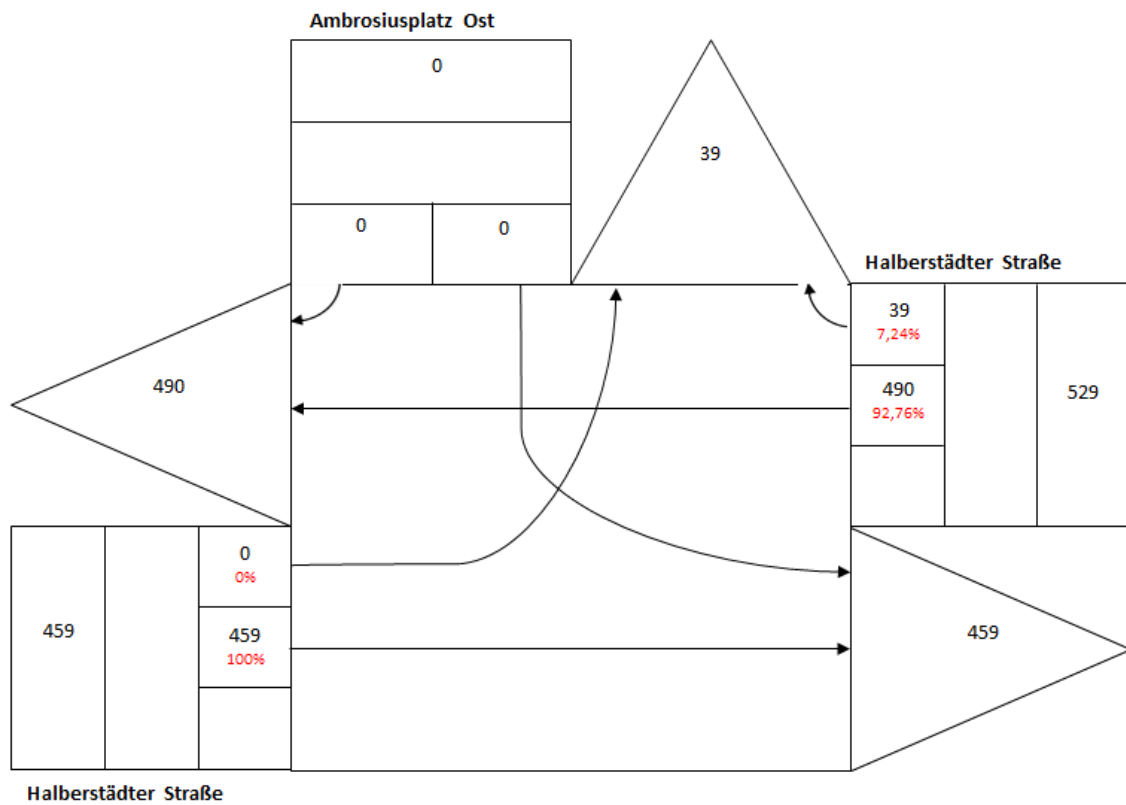
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Ambrosiusplatz Ost

Datum: kalibriert

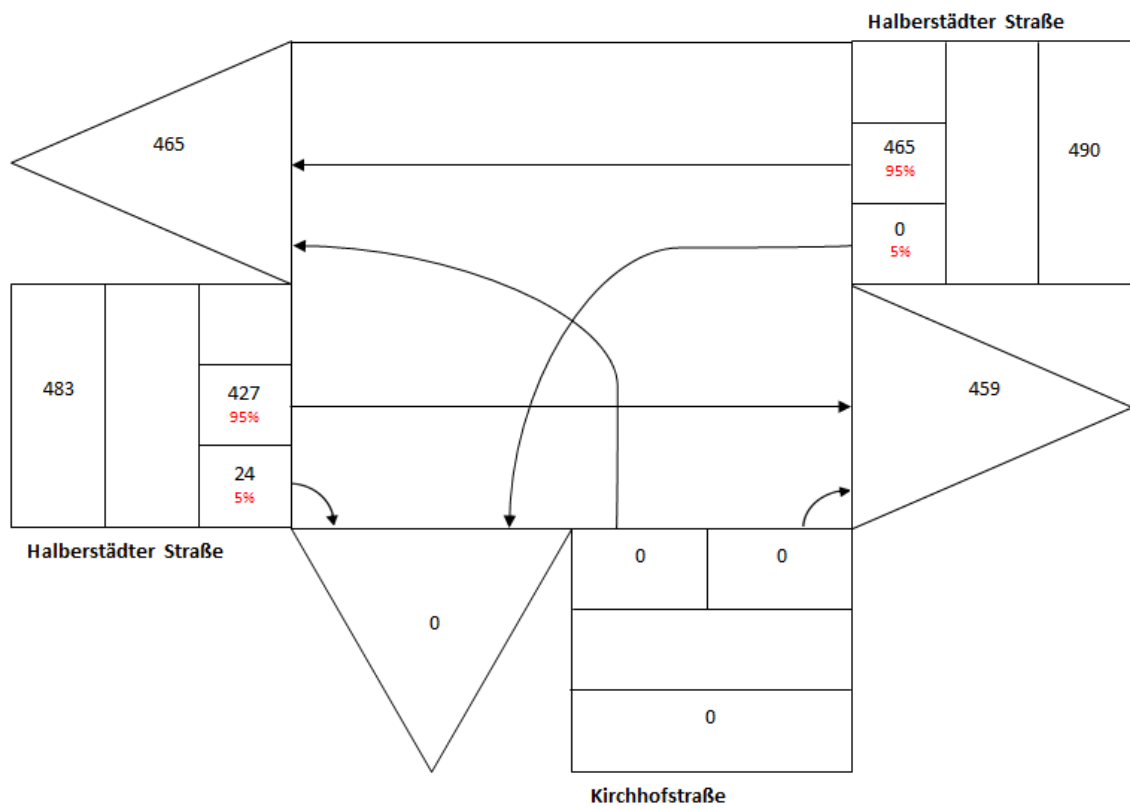
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Kirchhofstraße

Datum: kalibriert

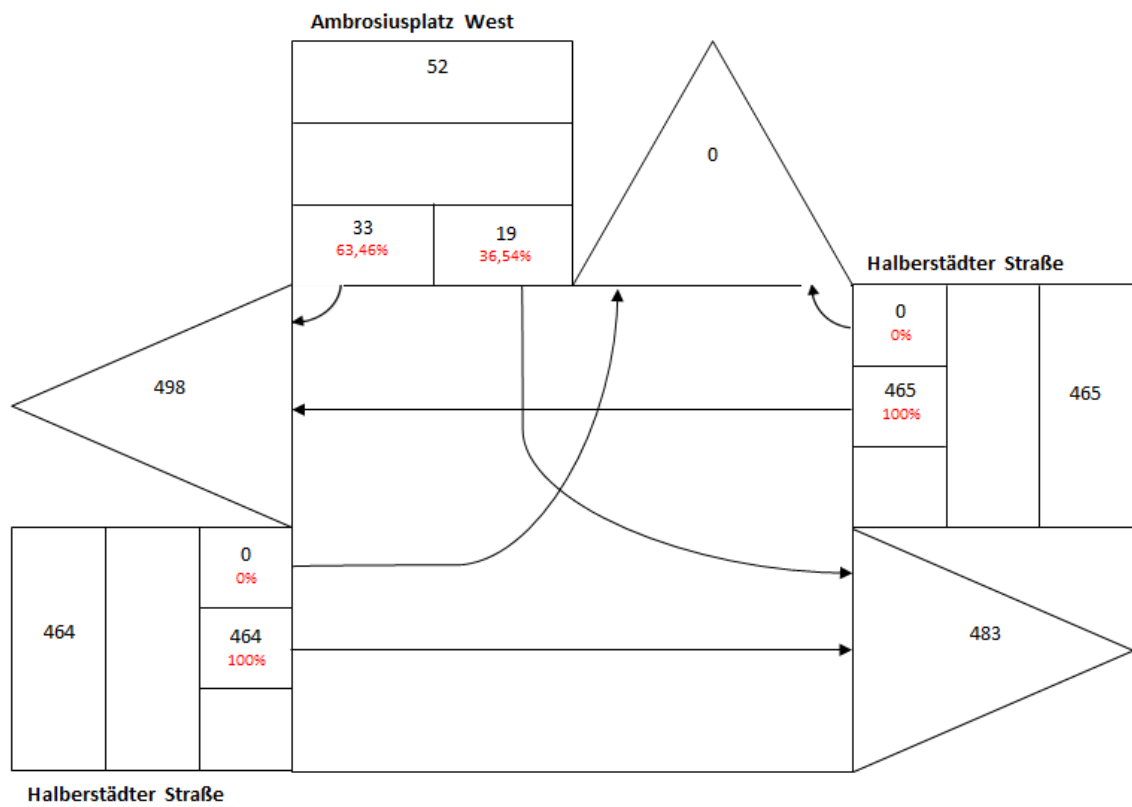
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Ambrosiusplatz West

Datum: kalibriert

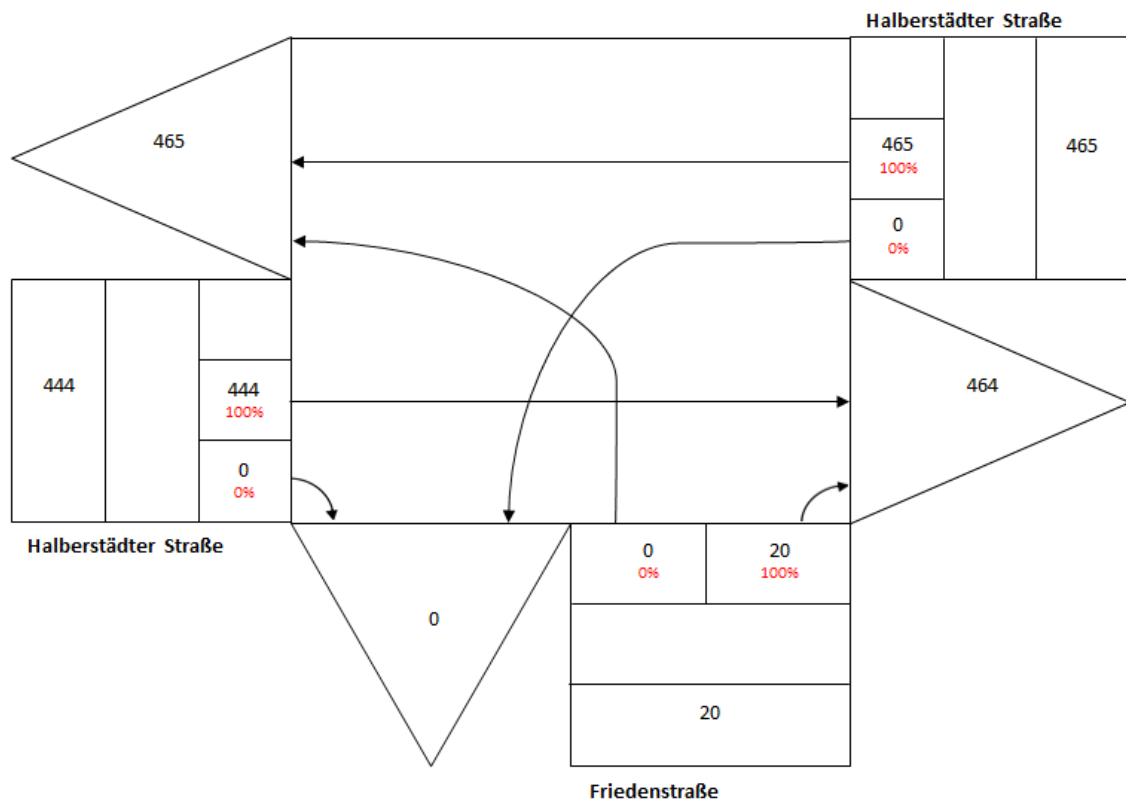
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Straße / Friedenstraße

Datum: kalibriert

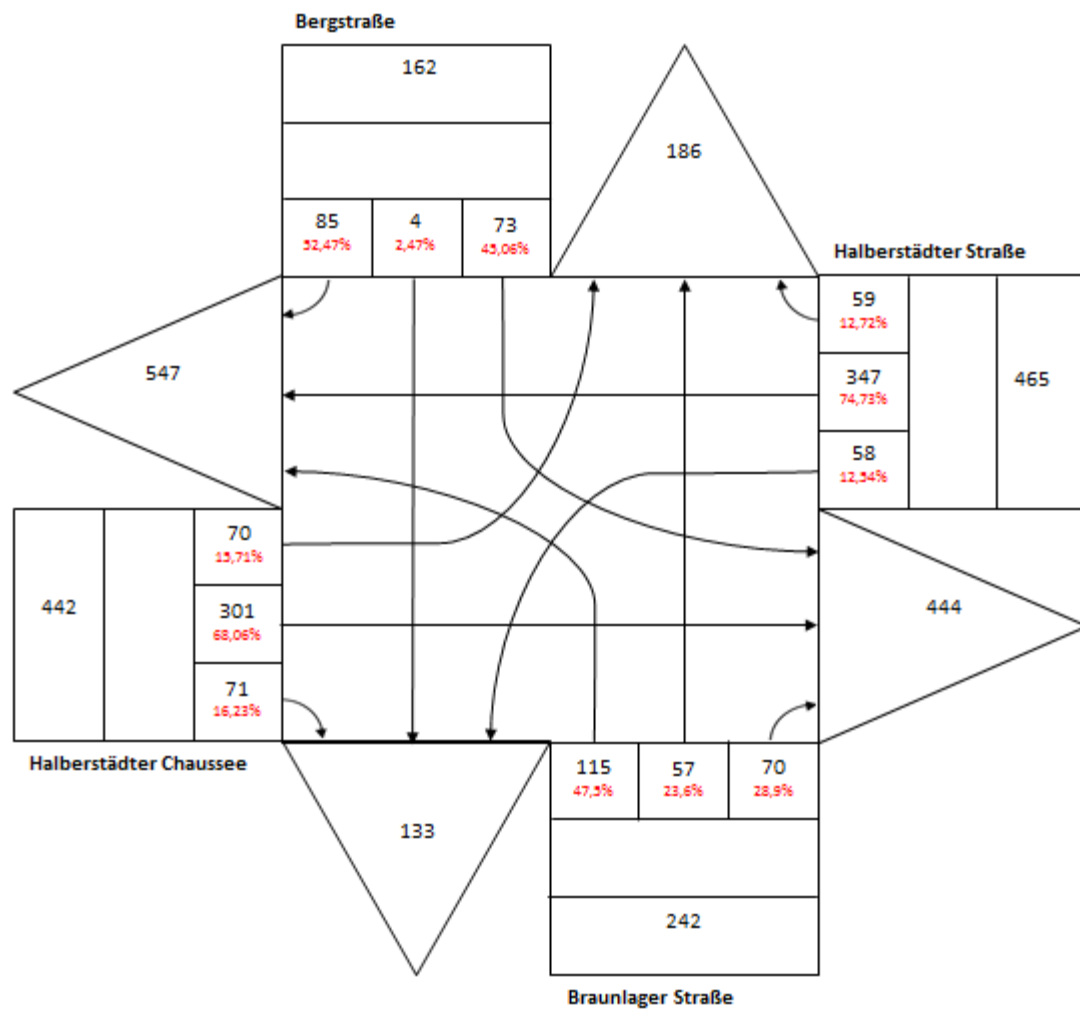
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Chaussee / Bergstraße, Braunlager Straße

Datum: kalibriert

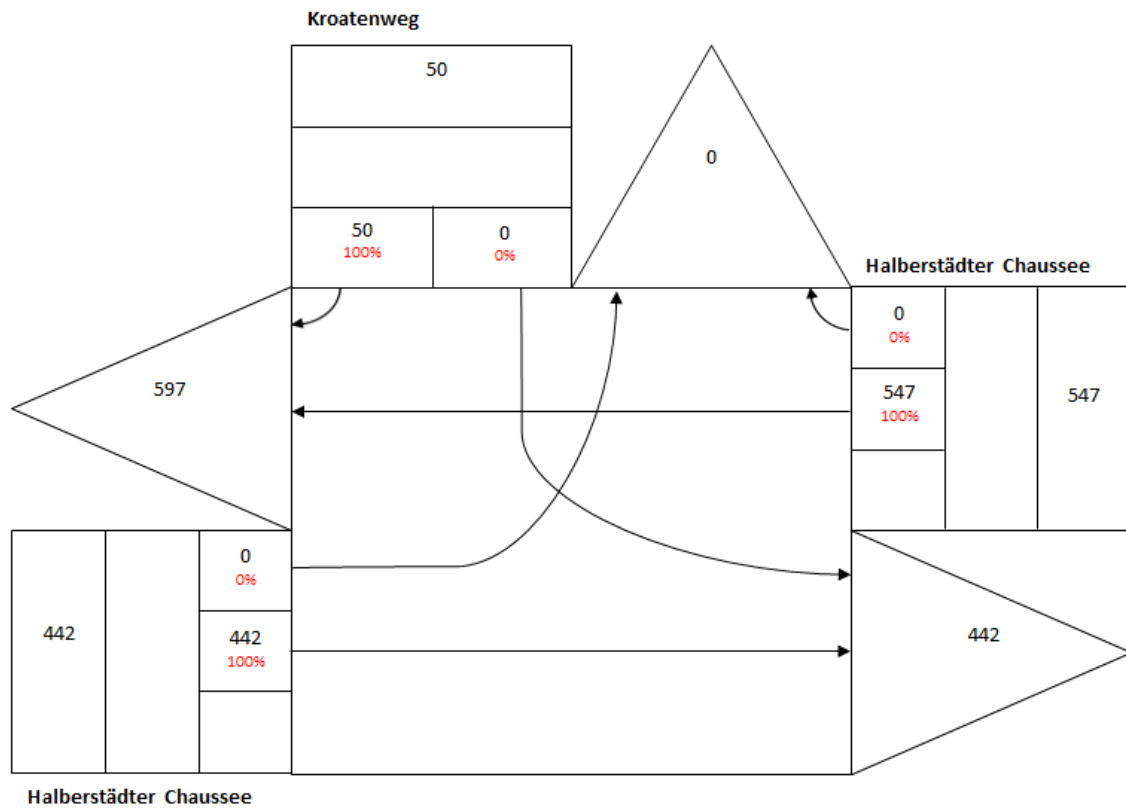
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Chaussee / Kroatenweg

Datum: kalibriert

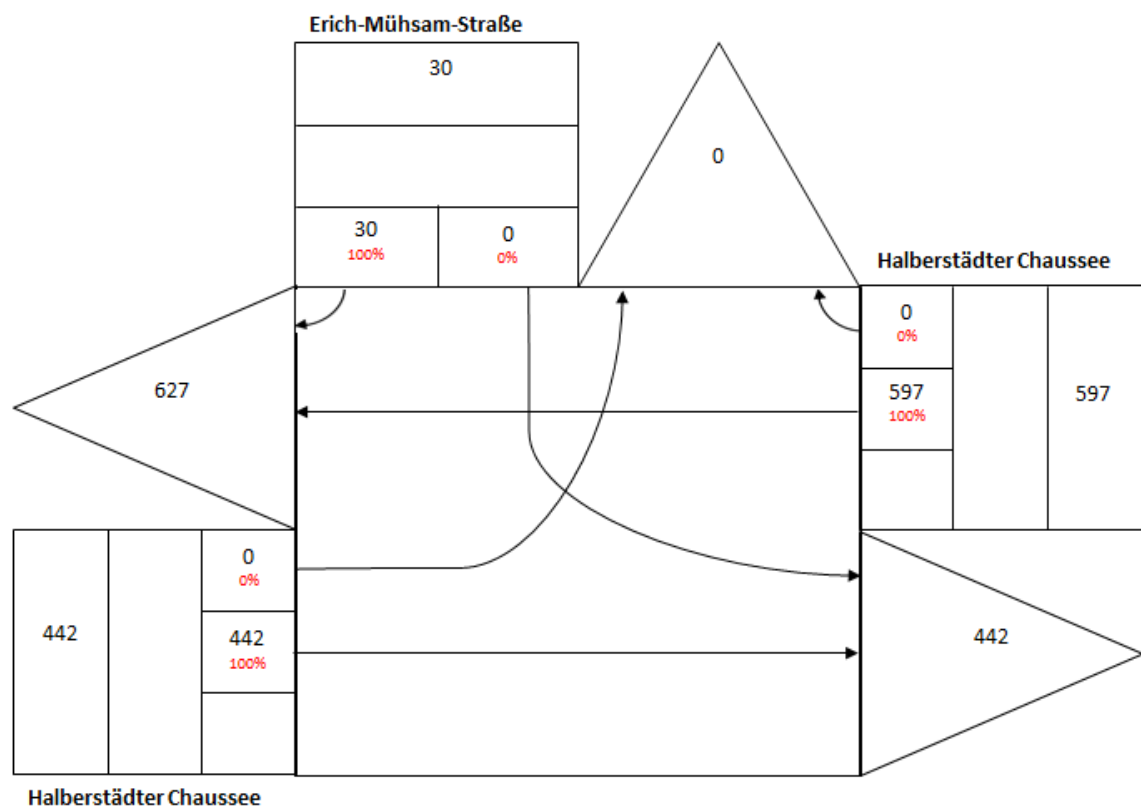
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Chaussee / Erich-Mühsam-Straße

Datum: kalibriert

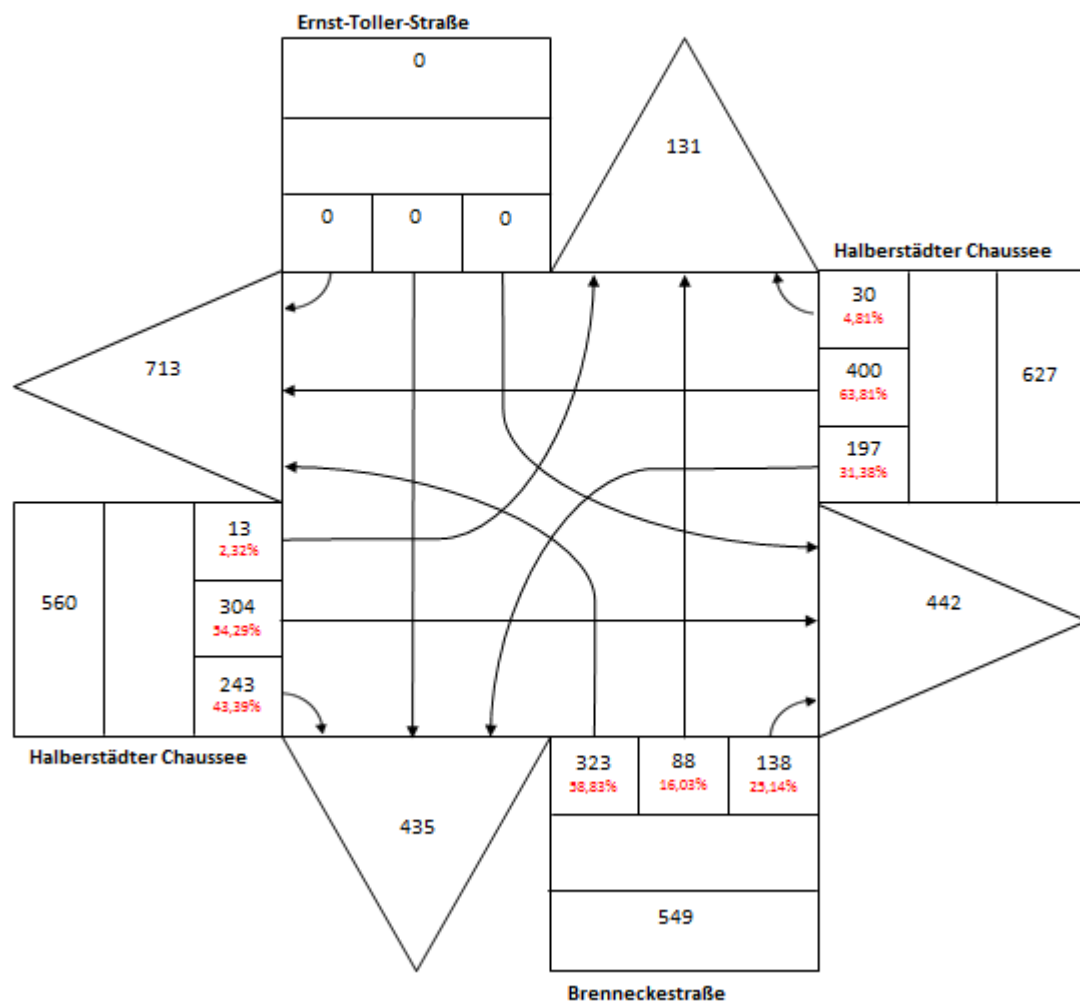
Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Knotenpunkt: Halberstädter Chaussee / Brenneckestraße

Datum: kalibriert

Uhrzeit: 16.00 – 17.00 Uhr



Anhang C

Quellcode VAP:

```

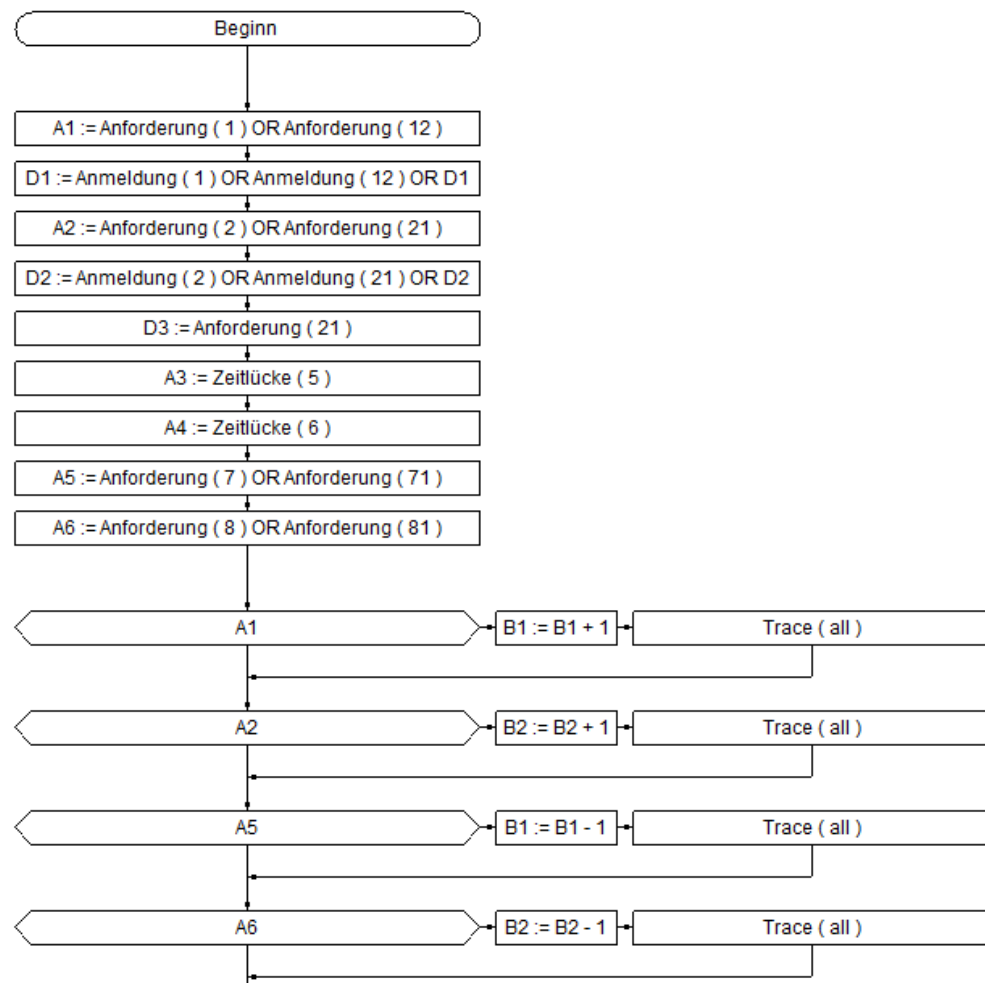
S00Z002: A1 := Anforderung ( 1 ) OR Anforderung ( 12 );
S00Z003: D1 := Anmeldung ( 1 ) OR Anmeldung ( 12 ) OR D1;
S00Z004: A2 := Anforderung ( 2 ) OR Anforderung ( 21 );
S00Z005: D2 := Anmeldung ( 2 ) OR Anmeldung ( 21 ) OR D2;
S00Z006: D3 := Anforderung ( 21 );
S00Z007: A3 := Zeitlücke ( 5 );
S00Z008: A4 := Zeitlücke ( 6 );
S00Z009: A5 := Anforderung ( 7 ) OR Anforderung ( 71 );
S00Z010: A6 := Anforderung ( 8 ) OR Anforderung ( 81 );
S00Z015: IF A1 THEN
S01Z015:   B1 := B1 + 1;
S02Z015:   Trace ( all )
          END;
S00Z017: IF A2 THEN
S01Z017:   B2 := B2 + 1;
S02Z017:   Trace ( all )
          END;
S00Z019: IF A5 THEN
S01Z019:   B1 := B1 - 1;
S02Z019:   Trace ( all )
          END;
S00Z021: IF A6 THEN
S01Z021:   B2 := B2 - 1;
S02Z021:   Trace ( all )
          END;
S00Z024: IF Phase_läuft( 1 ) THEN
S02Z024:   IF Anmeldung ( 3 ) OR Anmeldung ( 4 ) THEN
S04Z023:     IF C1 = 0 THEN
S05Z023:       Start_at ( timer , 0 );
S06Z023:       C1 := 1;
S07Z024:       IF timer > 60 THEN
S10Z024:         Pue ( 1 , 2 );
S11Z024:         Reset ( timer );
S12Z024:         D1 := 0;
S13Z024:         D2 := 0;
S14Z024:         B1 := 0;
S15Z024:         B2 := 0;
S16Z024:         C1 := 0;
S17Z024:         E1 := 0;
S00Z035:   IF Phase_läuft( 2 ) THEN
S07Z035:     Pue( 2 , 1 )
          END
          ELSE
S07Z026:     IF D1 THEN
S11Z026:       IF B1 = 0 THEN
S13Z026:         A1 := 0;
S14Z026:         A5 := 0;
S15Z026:         D1 := 0;
S07Z028:     IF D2 THEN
S09Z035:       IF E1 = 0 THEN
S10Z035:         IF D3 THEN
S11Z035:           IF B2 <= 1 THEN

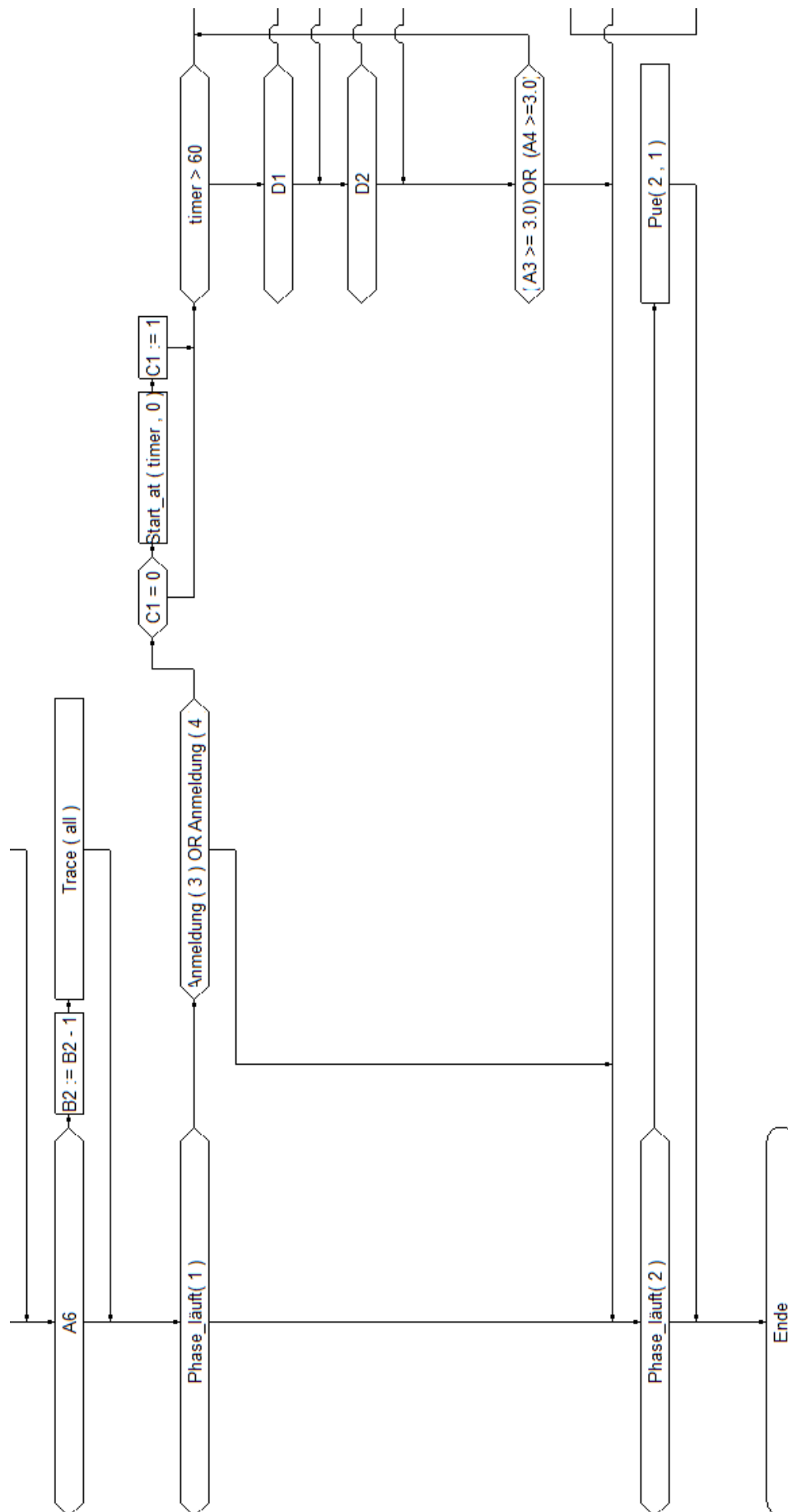
```

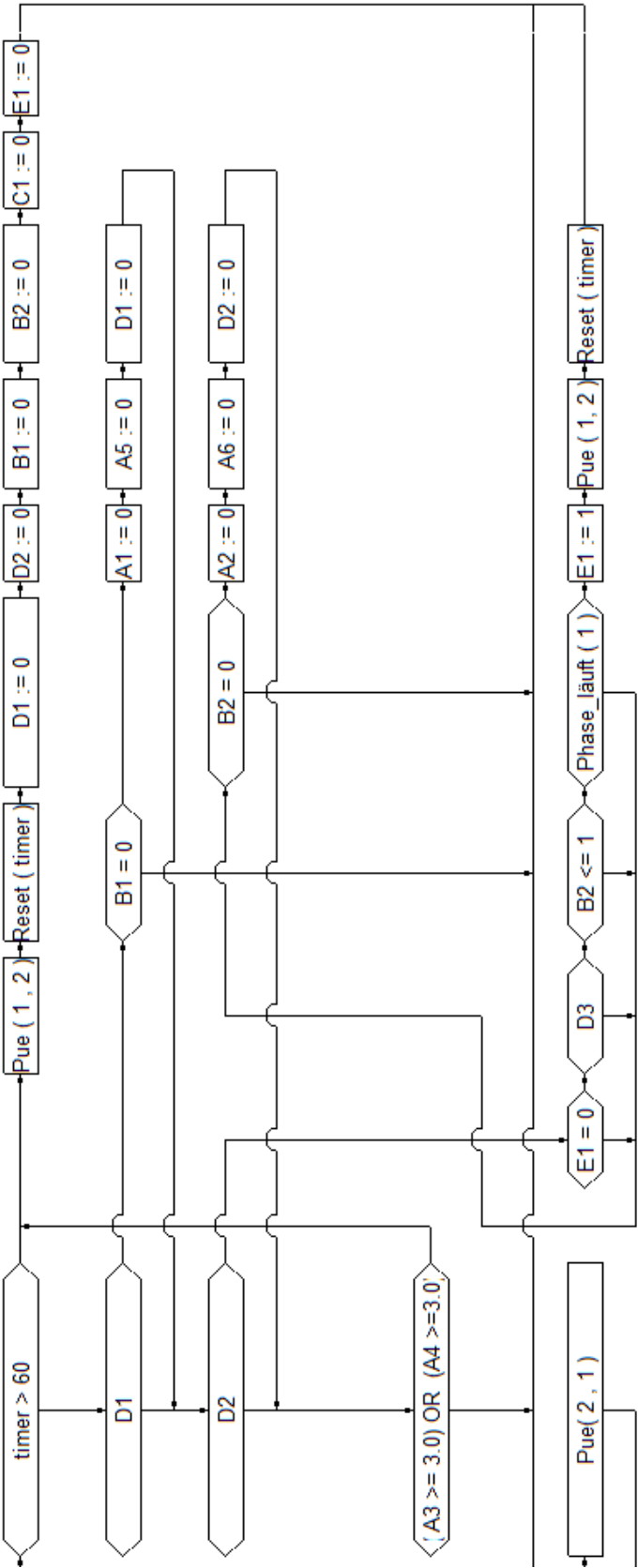
```

S12Z035:      IF Phase_läuft ( 1 ) THEN
S13Z035:      E1 := 1;
S14Z035:      Pue ( 1, 2 );
S15Z035:      Reset ( timer );
               GOTO S00Z035
ELSE
S12Z028:      IF B2 = 0 THEN
S13Z028:      A2 := 0;
S14Z028:      A6 := 0;
S15Z028:      D2 := 0;
S07Z032:      IF ( A3 >= 3.0 ) OR ( A4 >= 3.0 ) THEN
               GOTO S10Z024
ELSE
               GOTO S00Z035
END
ELSE
               GOTO S00Z035
END
END
ELSE
               GOTO S12Z028
END
ELSE
               GOTO S12Z028
END
ELSE
               GOTO S12Z028
END
ELSE
               GOTO S07Z032
END
ELSE
               GOTO S00Z035
END
ELSE
               GOTO S07Z028
END
END
ELSE
               GOTO S07Z024
END
ELSE
               GOTO S00Z035
END
ELSE
               GOTO S00Z035
END
END
PROG_ENDE:  .
/*-----*/

```







**Zwischenzeitberechnung Knotenpunkt
Halberstädterstraße / Bergstraße Nr. 552**

Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung										Räumend				Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung				Einführend				Tz [R]		Tz	
										V_r [m/s] l_{fz} [m] s_0 [m] t_r [s] t_a [s]								Flusstyp Fahrtrichtung V_e [m/s] s_e [m] t_e [s]							
Sig. Gr.										Räumend				Sig. Gr.				Einführend				Tz [R]		Tz	
K1	m	↑	10	6	14	20	2,0	3		K1	m	↑	11,1	29	2,61		↑	11,1	34	3,06	2,39	3			
	r	↑	4	0	13	13	3,3	1			m	↑	11,1	34	3,06		↑	11,1	34	3,06	1,19	2			
	m	↑	10	6	14	20	2,0	3			m	↑	5,0	29	5,8		↑	5,0	29	5,8	-0,8	-1			
	r	↑	4	0	13	13	3,3	1			r	↑	5,0	34	6,8		↑	5,0	34	6,8	-2,55	-3			
	m	→	5	6	10	16	3,2	2			m	→	11,1	31	2,79		↑	11,1	31	2,79	2,41	3			
	m	→	5	6	10	16	3,2	2			r	↑	5,0	31	6,2		↑	5,0	31	6,2	-1	-1			
	m	↑	10	6	30	36	3,6	3			m	←	11,1	23	2,07		←	11,1	23	2,07	4,53	5			
	m	↑	10	6	30	36	3,6	3			r	←	5,0	23	4,6		←	5,0	23	4,6	2	2			
K1	m	→	5	6	12	18	3,6	2		K4	m	←	11,1	33	2,97		←	11,1	33	2,97	2,63	3			
	m	↑	10	6	16	22	2,2	3			m	←	11,1	27	2,43		←	11,1	27	2,43	2,77	3			
	r	↑	4	0	13	13	3,3	1			m	←	11,1	34	3,06		←	11,1	34	3,06	1,19	2			
K1	m	↑	10	6	19	25	2,5	3		K5	m	→	11,1	14	1,26		→	11,1	14	1,26	4,24	5			
	r	↑	4	0	16	16	4,0	1			m	→	11,1	9	0,81		→	11,1	9	0,81	4,19	5			
	r	↑	4	0	16	16	4,0	1			r	→	5,0	9	1,8		→	5,0	9	1,8	3,2	4			
	m	↑	10	6	17	23	2,3	3			m	↑	11,1	16	1,44		↑	11,1	16	1,44	3,86	4			
	r	↑	4	0	16	16	4,0	1			m	↑	11,1	11	0,99		↑	11,1	11	0,99	4,01	5			
	m	↑	10	6	17	23	2,3	3			r	↑	5,0	16	3,2		↑	5,0	16	3,2	2,1	3			
	r	↑	4	0	16	16	4,0	1			r	↑	5,0	11	2,2		↑	5,0	11	2,2	2,8	3			
	m	↑	10	6	17	23	2,3	3			m	←	11,1	16	1,44		←	11,1	16	1,44	3,86	4			
	r	↑	4	0	16	16	4,0	1			m	←	11,1	11	0,99		←	11,1	11	0,99	4,01	5			
	m	↑	10	6	17	23	2,3	3			r	←	5,0	16	3,2		←	5,0	16	3,2	2,1	3			
	r	↑	4	0	16	16	4,0	1			r	←	5,0	11	2,2		←	5,0	11	2,2	2,8	3			
K1	m	↑	10	6	5	11	1,1	3		F1	f		1,5	0	0						4,1	5			
	r	↑	4	0	5	5	1,3	1			f		1,5	0	0						2,25	3			
K1	m	↑	10	6	34	40	4,0	3		F3	f		1,5	0	0						7	7			

Zwischenzeitberechnung Knotenpunkt
Halberstädterstraße / Bergstraße Nr. 552

Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung V_r [m/s] l_{fz} [m] s_0 [m] t_r [s] $t_{\ddot{u}}$ [s]										Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung V_e [m/s] s_e [m] t_e [s]								
Räumend										Einfahrend								
			↑	10	6	29	35	3,5	3				↑	11,1	14	1,26		
K2	m		↑							K1	m		↑				5,24	6
	r		↑	4	0	29	29	7,3	1		m		↑				6,99	7
	m		↑	10	6	34	40	4,0	3		r		↑	5,0	13	2,6	4,4	5
	m		↑	10	6	31	37	3,7	3		m		→				5,8	6
	r		↑	4	0	31	31	7,8	1		m		→				7,85	8
	m		←	7	6	23	29	4,1	2		m		↑				3,443	4
	r		←	4	0	23	23	5,8	1		m		↑				4,05	5
K2	m		→	7	6	20	26	3,7	2	K3	m		↑				3,464	4
	r		→	4	0	20	20	5,0	1		m		↑				3,75	4
	m		→	7	6	13	19	2,7	2		r		↑	5,0	16	3,2	1,514	2
	r		→	4	0	13	13	3,3	1		r		↑	5,0	16	3,2	1,05	2
	m		↑	10	6	18	24	2,4	3		m		↑				3,33	4
	r		↑	4	0	18	18	4,5	1		m		↑				3,43	4
	m		↑	10	6	13	19	1,9	3		r		↑	5,0	20	4	0,9	1
	r		↑	4	0	13	13	3,3	1		r		↑	5,0	20	4	0,25	1
	m		←	7	6	17	23	3,3	2		m		↑				4,026	5
	r		←	4	0	17	17	4,3	1		m		↑				3,99	4
	m		←	7	6	13	19	2,7	2		r		↑	5,0	13	2,6	2,114	3
	r		←	4	0	13	13	3,3	1		r		↑	5,0	13	2,6	1,65	2
K2	m		↑	10	6	25	31	3,1	3	K4	m		←				3,94	4
	r		↑	4	0	25	25	6,3	1		m		←				5,09	6
	m		←	7	6	21	27	3,9	3		m		←				5,867	6
	r		←	4	0	21	21	5,3	1		m		←				5,26	6
K2	m		↑	10	6	27	33	3,3	3	K6	m		←				4,95	5
	r		↑	4	0	27	27	6,8	1		m		←				6,4	7
	m		←	7	6	14	20	2,9	3		m		←				3,067	4
	r		←	4	0	14	14	3,5	1		m		←				1,71	2

Zwischenzeitberechnung Knotenpunkt
Halberstädterstraße / Bergstraße Nr. 552

Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung V_r [m/s] l_{fz} [m] s_0 [m] t_r [s] t_0 [s]										Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung V_e [m/s] s_e [m] t_e [s]							
Räumend										Einfahrend							
K2	m		↑	10	6	27	33	3,3	3	S1	s	↑	5,6	15	2,7	3,6	4
	r		↑	4	0	27	27	6,8	1		s	↑	5,6	15	2,7	5,05	6
	m		←	7	6	23	29	4,1	2		s	↑	5,6	28	5,04	1,103	2
	r		←	4	0	23	23	5,8	1		s	↑	5,6	28	5,04	1,71	2
K2	m		↑	10	6	22	28	2,8	3	S2	s	↑	5,6	25	4,5	1,3	2
	r		↑	4	0	22	22	5,5	1		s	↑	5,6	25	4,5	2	2
	m		←	7	6	21	27	3,9	2		s	↑	5,6	11	1,98	3,877	4
	r		←	4	0	21	21	5,3	1		s	↑	5,6	11	1,98	4,27	5
K2	m		↑	10	6	3	9	0,9	3	F2	f		1,5	0	0	3,9	4
	r		↑	4	0	3	3	0,8	1		f		1,5	0	0	1,75	2
	m		←	7	6	3	9	1,3	2		f		1,5	0	0	3,286	4
	r		←	4	0	3	3	0,8	1		f		1,5	0	0	1,75	2
K2	m		↑	10	6	33	39	3,9	3	F4	f		1,5	0	0	6,9	7

Zwischenzeitberechnung Knotenpunkt
Halberstädterstraße / Bergstraße Nr. 552

Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung V_r [m/s] l_{fz} [m] s_0 [m] t_r [s] $t_{ü}$ [s]									Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung V_e [m/s] s_e [m] t_e [s]								
Räumend									Einfahrend								
Sig. Gr.	Flusstyp	Fahrtrichtung	V_r [m/s]	l_{fz} [m]	s_0 [m]	t_r [s]	$t_{ü}$ [s]		Sig. Gr.	Flusstyp	Fahrtrichtung	V_e [m/s]	s_e [m]	t_e [s]	Tz [R]	Tz	
K3	m	↑	10	6	23	29	2,9	3	K2	m	↑	11,1	18	1,62	4,28	5	
	r	↑	4	0	20	20	5,0	1		m	↑	11,1	13	1,17	4,83	5	
	m	↑	10	6	23	29	2,9	3		r	↑	5,0	18	3,6	2,3	3	
	r	↑	4	0	20	20	5,0	1		r	↑	5,0	13	2,6	3,4	4	
	m	↑	10	6	12	18	1,8	3		m	←	11,1	15	1,35	3,45	4	
	r	↑	4	0	18	18	4,5	1		m	←	11,1	12	1,08	4,42	5	
	m	↑	10	6	12	18	1,8	3		r	←	5,0	15	3	1,8	2	
	r	↑	4	0	18	18	4,5	1		r	←	5,0	12	2,4	3,1	4	
	m	↑	10	6	25	31	3,1	3		m	→	11,1	20	1,8	4,3	5	
	r	↑	4	0	16	16	4,0	1		m	→	11,1	13	1,17	3,83	4	
K3	m	↑	10	6	25	31	3,1	3		r	→	5,0	20	4	2,1	3	
	r	↑	4	0	16	16	4,0	1		r	→	5,0	13	2,6	2,4	3	
	m	→	7	6	13	19	2,7	2	K5	m	↑	11,1	31	2,79	1,924	2	
	m	→	7	6	13	19	2,7	2		r	↑	5,0	31	6,2	-1,486	-2	
	m	↑	10	6	20	26	2,6	3		m	↑	11,1	23	2,07	3,53	4	
	r	↑	4	0	15	15	3,8	1		r	↑	5,0	23	4,6	0,15	1	
	m	↑	10	6	25	31	3,1	3		m	←	11,1	21	1,89	4,21	5	
	m	↑	10	6	25	31	3,1	3		r	←	5,0	21	4,2	1,9	2	
	K3	m	→	7	6	13	19	2,7	2	K6	m	←	11,1	33	2,97	1,744	2
	m	↑	10	6	18	24	2,4	3		m	←	11,1	24	2,16	3,24	4	
K3	r	↑	4	0	15	15	3,8	1		m	←	11,1	32	2,88	1,87	2	
	K3	m	↑	10	6	27	33	3,3	3	S2	m	←	5,6	27	4,82	1,479	2
	K3	m	↑	10	6	32	38	3,8	3	F1	f		1,5	0	6,8	7	
	K3	m	↑	10	6	6	12	1,2	3	F3	f		1,5	0	4,2	5	

Zwischenzeitberechnung Knotenpunkt
Halberstädterstraße / Bergstraße Nr. 552

Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung V_f [m/s] L_{fz} [m] s_0 [m] t_r [s] $t_{\bar{a}}$ [s]										Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung V_e [m/s] s_e [m] t_e [s]									
Räumend										Einfahrend									
Sig.	Gr.	Flusstyp	Fahrtrichtung	V_f [m/s]	L_{fz} [m]	s_0 [m]	t_r [s]	$t_{\bar{a}}$ [s]		Sig.	Gr.	Flusstyp	Fahrtrichtung	V_e [m/s]	s_e [m]	t_e [s]		Tz [R]	Tz
K4	m		←	7	6	33	39	5,6	2	K1	m		→	11,1	12	1,08		6,491	7
	m		←	7	6	27	33	4,7	2		m		↑	11,1	16	1,44		5,274	6
	m		←	7	6	34	40	5,7	2		r		↑	5,0	13	2,6		5,114	6
	r		←	4	0	33	33	8,3	1		m		→	11,1	12	1,08		8,17	9
	r		←	4	0	27	27	6,8	1		m		↑	11,1	16	1,44		6,31	7
K4	m		←	7	6	24	30	4,3	2	K2	m		↑	11,1	25	2,25		4,035	5
	m		←	7	6	24	30	4,3	2		r		↑	5,0	25	5		1,286	2
	m		←	7	6	11	17	2,4	2		m		←	11,1	21	1,89		2,538	3
	m		←	7	6	11	17	2,4	2		r		←	5,0	21	4,2		0,229	1
	r		←	4	0	24	24	6,0	1		m		↑	11,1	25	2,25		4,75	5
	r		←	4	0	11	11	2,8	1		m		←	11,1	21	1,89		1,86	2
K4	m		←	7	6	25	31	4,4	2	K5	m		←	11,1	19	1,71		4,718	5
	m		←	7	6	25	31	4,4	2		r		←	5,0	19	3,8		2,629	3
	m		←	7	6	22	28	4,0	2		m		↑	11,1	20	1,8		4,2	5
	m		←	7	6	22	28	4,0	2		r		↑	5,0	20	4		2	2
	r		←	4	0	23	23	5,8	1		m		←	11,1	19	1,71		5,038	6
	r		←	4	0	22	22	5,5	1		m		↑	11,1	20	1,8		4,698	5
K4	m		←	7	6	21	27	3,9	2	K6	m		←	11,1	21	1,89		3,965	4
	r		←	4	0	21	21	5,3	1		m		←	11,1	21	1,89		4,358	5
K4	m		←	7	6	25	31	4,4	2	S1	s		↑	5,6	18	3,21		3,214	4
	r		←	4	0	25	25	6,3	1		s		↑	5,6	18	3,21		4,036	5
K4	m		←	7	6	3	9	1,3	2	F3	f			1,5	0	0		3,286	4
	r		←	4	0	3	3	0,8	1		f			1,5	0	0		1,75	2
K4	m		←	7	6	34	40	5,7	2	F4	f			1,5	0	0		7,714	8

**Zwischenzeitberechnung Knotenpunkt
Halberstädterstraße / Bergstraße Nr. 552**

Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung <i>v_z</i> [m/s] <i>l_z</i> [m] <i>s_o</i> [m] <i>t_r</i> [s] <i>t_g</i> [s]										Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung <i>v_z</i> [m/s] <i>s_z</i> [m] <i>t_z</i> [s]					Tz [R]	Tz	
Räumend										Einfahrend							
K5	m	↑	7	6	14	20	2,9	2		K1	m	↑	11,1	19	1,7	3,15	4
	m	↑	7	6	9	15	2,1	2			r	↑	5,0	16	3,2	0,94	1
	r	↑	4	0	9	9	2,3	1			r	↑	5,0	16	3,2	0,05	1
	m	↑	10	6	16	22	2,2	3			m	↑	11,1	17	1,5	3,67	4
	r	↑	4	0	16	16	4,0	1			m	↑	11,1	17	1,5	3,47	4
	m	↑	10	6	11	17	1,7	3			r	↑	5,0	16	3,2	1,5	2
	r	↑	4	0	11	11	2,8	1			r	↑	5,0	16	3,2	0,55	1
	m	→	7	6	16	22	3,1	2			m	↑	11,1	17	1,5	3,61	4
	r	→	4	0	16	16	4,0	1			m	↑	11,1	17	1,5	3,47	4
	m	→	7	6	11	17	2,4	2			r	↑	5,0	16	3,2	1,23	2
	r	→	4	0	11	11	2,8	1			r	↑	5,0	16	3,2	0,55	1
K5	m	↑	10	6	31	37	3,7	3		K3	m	→	11,1	13	1,2	5,53	6
	r	↑	4	0	31	31	7,8	1			m	→	11,1	13	1,2	7,58	8
	m	↑	10	6	27	33	3,3	3			m	↑	11,1	20	1,8	4,5	5
	r	↑	4	0	27	27	6,8	1			m	↑	11,1	20	1,8	5,95	6
	m	↑	10	6	32	38	3,8	3			r	↑	5,0	15	3	3,8	4
	r	↑	4	0	32	32	8,0	1			r	↑	5,0	15	3	6	6
	m	→	7	6	21	27	3,9	2			m	↑	11,1	25	2,3	3,61	4
	r	→	4	0	21	21	5,3	1			m	↑	11,1	25	2,3	4	4
K5	m	→	7	6	19	25	3,6	2		K4	m	→	11,1	25	2,3	3,32	4
	r	→	4	0	19	19	4,8	1			m	→	11,1	25	2,3	3,5	4
	m	↑	10	6	20	26	2,6	3			m	→	11,1	22	2	3,62	4
	r	↑	4	0	20	20	5,0	1			m	→	11,1	22	2	4,02	5
K5	m	↑	10	6	16	22	2,2	3		K6	m	→	11,1	17	1,5	3,67	4
	r	↑	4	0	16	16	4,0	1			m	→	11,1	17	1,5	3,47	4
	m	→	7	6	19	25	3,6	2			m	→	11,1	18	1,6	3,95	4
	r	→	4	0	19	19	4,8	1			m	→	11,1	18	1,6	4,13	5

**Zwischenzeitberechnung Knotenpunkt
Halberstädterstraße / Bergstraße Nr. 552**

Sig. Gr Flussstyp Fahrtrichtung v_z [m/s] l_z [m] s_o [m] t_r [s] t_g [s]									Sig. Gr. Flussstyp Fahrtrichtung v_z [m/s] s_e [m] t_e [s]					Tz [R]	Tz	
Räumend									Einfahrend							
K5	m	↑	10	6	18	24	2,4	3	S1	s	↑	5,6	19	3,4	1,98	2
	r	↑	4	0	18	18	4,5	1		s	↑	5,6	19	3,4	2,08	3
	m	↔	7	6	18	24	3,4	2		s	↑	5,6	18	3,2	2,19	3
	r	↔	4	0	18	18	4,5	1		s	↑	5,6	18	3,2	2,26	3
K5	m	↑	10	6	23	29	2,9	3	S2	s	↑	5,6	20	3,6	2,3	3
	r	↑	4	0	23	23	5,8	1		s	↑	5,6	20	3,6	3,15	4
	m	↔	7	6	19	25	3,6	2		s	↑	5,6	22	4	1,61	2
	r	↔	4	0	19	19	4,8	1		s	↑	5,6	22	4	1,79	2
K5	m	↑	10	6	38	44	4,4	3	F2	f		1,5	0	0	7,4	8
K5	m	↑	10	6	6	12	1,2	3	F4	f		1,5	0	0	4,2	5
	r	↑	4	0	6	6	1,5	1		f		1,5	0	0	2,5	3
	m	↔	7	6	6	12	1,7	2		f		1,5	0	0	3,71	4
	r	↔	4	0	6	6	1,5	1		f		1,5	0	0	2,5	3

**Zwischenzeitberechnung Knotenpunkt
Halberstädterstraße / Bergstraße Nr. 552**

Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung <i>v_z</i> [m/s] <i>l_z</i> [m] <i>s₀</i> [m] <i>t_r</i> [s] <i>t₀</i> [s]										Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung <i>v_z</i> [m/s] <i>s_z</i> [m] <i>t_z</i> [s]								
Räumend										Einfahrend								
Sig.	Gr	Flusstyp	Fahrtrichtung	<i>v_z</i> [m/s]	<i>l_z</i> [m]	<i>s₀</i> [m]	<i>t_r</i> [s]	<i>t₀</i> [s]		Sig.	Gr.	Flusstyp	Fahrtrichtung	<i>v_z</i> [m/s]	<i>s_z</i> [m]	<i>t_z</i> [s]	Tz [R]	Tz
K6	m		←	7	6	15	21	3,0	2	K2	m		↑	11,1	27	2,4	2,57	3
	m		←	7	6	15	21	3,0	2		r		↑	5,0	27	5,4	-0,4	-1
	m		←	7	6	31	37	5,3	2		m		←	11,1	14	1,3	6,02	7
	m		←	7	6	31	37	5,3	2		r		←	5,0	14	2,8	4,49	5
	r		←	4	0	15	15	3,8	1		m		↑	11,1	27	2,4	2,32	3
	r		←	4	0	31	31	7,8	1		r		←	5,0	14	2,8	5,95	6
K6	m		←	7	6	33	39	5,6	2	K3	m		←	11,1	13	1,2	6,4	7
	m		←	7	6	24	30	4,3	2		m		↑	11,1	18	1,6	4,66	5
	m		←	7	6	32	38	5,4	2		r		↑	5,0	15	3	4,43	5
	r		←	4	0	33	33	8,3	1		m		←	11,1	13	1,2	8,08	9
	r		←	4	0	24	24	6,0	1		m		↑	11,1	18	1,6	5,38	6
	r		←	4	0	32	32	8,0	1		r		↑	5,0	15	3	6	6
K6	m		←	7	6	21	27	3,9	2	K4	m		←	11,1	21	1,9	3,97	4
	r		←	4	0	21	21	5,3	1		m		←	11,1	21	1,9	4,36	5
K6	m		←	7	6	17	23	3,3	2	K5	m		↑	11,1	16	1,4	3,84	4
	m		←	7	6	17	23	3,3	2		r		↑	11,1	16	1,4	3,84	4
	m		←	7	6	18	24	3,4	2		m		←	11,1	19	1,7	3,72	4
	m		←	7	6	18	24	3,4	2		r		←	5,0	19	3,8	1,63	2
	r		←	4	0	21	21	5,3	1		m		↑	11,1	20	1,8	4,45	5
	r		←	4	0	18	18	4,5	1		m		←	11,1	19	1,7	3,79	4
K6	m		←	7	6	24	30	4,3	2	S2	s		↑	5,6	19	3,4	2,89	3
	r		←	4	0	24	24	6,0	1		s		↑	5,6	19	3,4	3,61	4
K6	m		←	7	6	5	11	1,6	2	F1	f		↑			0	3,57	4
	r		←	4	0	5	5	1,3	1		f		↑			0	2,25	3
K6	m		←	7	6	39	45	6,4	2	F2	f		↑			0	8,43	9
	r		←	4	0	39	39	9,8	1		f		↑			0	10,8	11

**Zwischenzeitberechnung Knotenpunkt
Halberstädterstraße / Bergstraße Nr. 552**

Sig. Gr								Räumend				Sig. Gr				Einfahrend				Tz [R]		Tz			
Sig.	Gr	Flusstyp	Fahrttrichtung	v_r [m/s]	l_r [m]	s_0 [m]	t_r [s]	t_g [s]		Sig.	Gr.	Flusstyp	Fahrttrichtung	v_g [m/s]	s_g [m]	t_g [s]		Sig.	Gr.	Fahrttrichtung	v_g [m/s]	s_g [m]	t_g [s]	Tz [R]	Tz
S1	s		↑	13,9	15	15	30	2,2	5	K2	m		↑	11,1	27	2,4						4,73		5	
	s		↑	13,9	15	15	30	2,2	5			r		↑	5,0	27	5,4					1,76		2	
	s		↑	13,9	15	28	43	3,1	5			m		←	11,1	23	2,1					6,02		7	
	s		↑	13,9	15	28	43	3,1	5			r		←	5,0	23	4,6					3,5		4	
S1	s		↑	13,9	15	18	33	2,4	5	K4	m		←	11,1	25	2,3						5,12		6	
S1	s		↑	13,9	15	19	34	2,4	5	K5	m		↑	11,1	18	1,6						5,83		6	
	s		↑	13,9	15	19	34	2,4	5			r		↑	5,0	18	3,6					3,85		4	
	s		↑	13,9	15	18	33	2,4	5			m		←	11,1	18	1,6					5,75		6	
	s		↑	13,9	15	18	33	2,4	5			r		←	5,0	18	3,6					3,78		4	
S1	s		↑	13,9	15	5	20	1,4	5	F1	f				1,5	4	2,7					3,77		4	
S1	s		↑	13,9	15	36	51	3,7	5	F3	f				1,5	4	2,7					6,01		7	

**Zwischenzeitberechnung Knotenpunkt
Halberstädterstraße / Bergstraße Nr. 552**

Sig. Gr Flusstyp Fahrtrichtung							Räumend			Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung			Einfahrend			Tz [R]	Tz		
Sig.	Gr	Flusstyp	Fahrtrichtung	l_z [m]	s_o [m]	t_r [s]	t_g [s]	l_z [m]	s_z [m]	t_z [s]	Sig.	Gr.	Flusstyp	Fahrtrichtung	l_z [m]	s_z [m]	t_z [s]	Tz [R]	Tz
S2	s		↑	13,9	15	25	40	2,9	5		K2	m		↑	11,1	22	2	5,9	6
	s		↑	13,9	15	25	40	2,9	5			r		↑	5,0	22	4,4	3,48	4
	s		↑	13,9	15	11	26	1,9	5			m		→	11,1	21	1,9	4,98	5
	s		↑	13,9	15	11	26	1,9	5			r		→	5,0	21	4,2	2,67	3
S2	s		↑	13,9	15	27	42	3,0	5		K3	m		↑	11,1	27	2,4	5,59	6
S2	s		↑	13,9	15	20	35	2,5	5		K5	m		↑	11,1	23	2,1	5,45	6
	s		↑	13,9	15	20	35	2,5	5			r		↑	5,0	23	4,6	2,92	3
	s		↑	13,9	15	22	37	2,7	5			m		→	11,1	19	1,7	5,95	6
	s		↑	13,9	15	22	37	2,7	5			r		→	5,0	19	3,8	3,86	4
S2	s		↑	13,9	15	19	34	2,4	5		K6	m		→	11,1	24	2,2	5,29	6
S2	s		↑	13,9	15	35	50	3,6	5		F1	f			1,5	0	0	8,6	9
S2	s		↑	13,9	15	3	18	1,3	5		F3	f			1,5	0	0	6,3	7

**Zwischenzeitberechnung Knotenpunkt
Halberstädterstraße / Bergstraße Nr. 552**

Räumend								Einfahrend									
Sig.	Gr	Flusstyp	Fahrtrichtung	l_r [m/s]	l_z [m]	s_o [m]	t_r [s]	t_z [s]	Sig.	Gr.	Flusstyp	Fahrtrichtung	l_z [m/s]	s_z [m]	t_e [s]	T_z [R]	T_z
F1	f			1,2	0	15	###	0	K1	m		↑	11,1	5	0,5	12	13
	f			1,2	0	17	###	0		r		↑	5,0	5	1	13,2	14
F1	f			1,2	0	15	###	0	K3	m		↑	11,1	32	2,9	9,62	10
	f			1,2	0	17	###	0		r		↑	5,0	32	6,4	7,77	8
F1	f			1,2	0	13	###	0	K6	m		←	11,1	5	0,5	10,4	11
F1	f			1,2	0	13	###	0	S1	s		↑	5,6	5	0,9	9,94	10
F1	f			1,2	0	13	###	0	S2	s		↑	5,6	32	5,7	5,12	6

**Zwischenzeitberechnung Knotenpunkt
Halberstädterstraße / Bergstraße Nr. 552**

Sig. Gr Flusstyp Fahrtrichtung <i>v_z</i> [m/s] <i>l_z</i> [m] <i>s₀</i> [m] <i>t_r</i> [s] <i>t_z</i> [s]									Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung <i>v_z</i> [m/s] <i>s_e</i> [m] <i>t_e</i> [s]									Tz [R]		Tz
Räumend									Einfahrend											
F2	f		1,2	0	10	10	8,3	0	K2	m	↑	11,1	3	0,3	8,06	9				
	f		1,2	0	10	10	8,3	0		r	↑	5,0	3	0,6	7,73	8				
	f		1,2	0	7	7	5,8	0		m	↔	11,1	3	0,3	5,56	6				
	f		1,2	0	7	7	5,8	0		r	↔	5,0	3	0,6	5,23	6				
F2	f		1,2	0	10	10	8,3	0	K5	m	↑	11,1	38	3,4	4,91	5				
	f		1,2	0	10	10	8,3	0		r	↑	5,0	38	7,6	0,73	1				
F2	f		1,2	0	10	10	8,3	0	K6	m	↔	11,1	39	3,5	4,82	5				

Zwischenzeitberechnung Knotenpunkt
Halberstädterstraße / Bergstraße Nr. 552

Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung V_r [m/s] l_{fz} [m] s_0 [m]							t_r [s] $t_{ü}$ [s]		Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung V_e [m/s] s_e [m] t_e [s]							Tz [R]	Tz																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Räumend											Einfahrend																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
F3	f		1,2	0	16	16	13,3	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	

Zwischenzeitberechnung Knotenpunkt
Halberstädterstraße / Bergstraße Nr. 552

Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung V_r [m/s] l_{fz} [m] s_0 [m] t_r [s] t_{ii} [s]									Sig. Gr. Flusstyp Fahrtrichtung V_e [m/s] s_e [m] t_e [s]							
Räumend									Einfahrend							
F4	f		1,2	0	9	9	7,5	0	K2	m	↑	11,1	35	3,15	Tz [R]	Tz
	f		1,2	0	9	9	7,5	0		r	↑	5,0	35	7	4,35	5
F4	f		1,2	0	9	9	7,5	0	K4	m	←	11,1	34	3,06	0,5	1
F4	f		1,2	0	9	9	7,5	0	K5	m	↑	11,1	6	0,54	4,44	5
	f		1,2	0	9	9	7,5	0		r	↑	5,0	6	1,2	6,96	7
	f		1,2	0	9	9	7,5	0		m	←	11,1	6	0,54	6,3	7
	f		1,2	0	9	9	7,5	0		r	←	5,0	6	1,2	6,96	7

Anhang E

*** ZWISCHENZEITENMATRIX ***

Räumend		Einfahrend														
LfNr	Signalgruppe	K1	K2	K3	K4	K5	K6	S1	S2	F1	F2	F3	F4	OR1	BL1	BL2
1	K1	=	5	·	4	5	·	·	·	5	·	7	·	5	·	·
2	K2	7	=	4	8	·	5	5	7	·	5	·	7	·	·	·
3	K3	·	5	=	·	5	3	·	5	7	·	5	·	7	·	·
4	K4	7	5	·	=	6	5	5	·	·	·	4	8	·	·	·
5	K5	4	·	7	4	=	5	5	4	·	7	·	5	·	·	·
6	K6	·	6	7	5	6	=	·	4	4	8	·	·	4	·	·
7	S1	·	7	·	6	7	·	=	·	4	·	6	·	4	·	·
8	S2	·	7	7	·	7	6	·	=	9	·	7	·	9	·	·
9	F1	14	·	11	·	·	11	11	7	=	·	·	·	·	·	·
10	F2	·	9	·	·	6	6	·	·	·	=	·	·	·	·	·
11	F3	12	·	15	10	·	·	7	10	·	·	=	·	·	·	·
12	F4	·	7	·	7	10	·	·	·	·	·	·	=	·	·	·
13	OR1	18	·	14	·	·	13	13	9	·	·	·	·	=	·	·
14	BL1	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	=	·
15	BL2	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	=

min t grün	10	5	10	5	5	5	5	5	8	6	8	6	10	·	·
Rot / Gelb	2	2	2	2	2	2	(6)T	·	·	·	·	·	·	·	·
Gelb	3	3	3	3	3	3	·	5	·	·	·	·	·	·	·

Konfliktpunktabelle

Knotenbezeichnung : Magdeburg Halberstädter Straße / Bergstraße
 Berechnungsvariante : RiLSA 1992

Konf	Räumend										Einführend														
	SigGr	Typ	Str	FS	Meg	LFz	V0	V	B	Tz	TU	SigGr	Typ	Str	FS	Meg	V0	V	B	Tz	TU	T0+Tr	Tz(R)	Tz	
1	K1	m	W/G	1	16,0	6,0	10,0	10,0	0,0	2,2	3,0	K2	m	N/G	1	20,0	11,1	11,1	0,0	1,8	5,2	5,4			
1	K1	r	W/G	1	13,0	0,0	5,0	5,0	0,0	2,6	2,0	K2	m	N/G	1	25,0	11,1	11,1	0,0	2,3	4,6	2,3			
1	K1	m	W/G	1	13,0	6,0	10,0	10,0	0,0	1,9	3,0	K2	r	N/G	1	20,0	5,0	5,0	0,0	4,0	4,9	0,9			
1	K1	r	W/G	1	11,0	0,0	5,0	5,0	0,0	2,2	2,0	K2	r	N/G	1	25,0	5,0	5,0	0,0	5,0	4,2	* 0,0			
1	K1	m	W/R	1	15,0	6,0	5,0	5,0	0,0	4,2	2,0	K2	m	N/G	1	26,0	11,1	11,1	0,0	2,3	6,2	3,9			
1	K1	r	W/R	1	15,0	6,0	5,0	5,0	0,0	4,2	2,0	K2	r	N/G	1	26,0	5,0	5,0	0,0	5,2	6,2	1,0			
1	K1	m	W/L	1	15,0	6,0	5,0	5,0	0,0	4,2	2,0	K2	r	N/G	1	31,0	5,0	5,0	0,0	6,2	3,8	* 0,0			
1	K1	r	W/L	1	9,0	0,0	5,0	5,0	0,0	1,8	2,0	K2	r	N/L	1	23,0	11,1	11,1	0,0	2,1	6,5	4,4	5		
1	K1	m	W/L	1	29,0	6,0	10,0	10,0	0,0	3,5	3,0	K2	m	N/L	1	23,0	5,0	5,0	0,0	4,6	6,5	1,9			
1	K1	r	W/L	1	29,0	6,0	10,0	10,0	0,0	3,5	3,0	K2	r	N/L	1	23,0	5,0	5,0	0,0	4,6	7,8	3,2			
3	K1	m	W/R	1	16,0	6,0	5,0	5,0	0,0	4,4	2,0	KA	m	O/L	1	30,0	11,1	11,1	0,0	2,7	6,4	3,7	4		
3	K1	m	W/G	1	15,0	6,0	10,0	10,0	0,0	2,1	3,0	KA	m	O/L	1	21,0	11,1	11,1	0,0	1,9	5,1	3,2			
3	K1	r	W/G	1	12,0	0,0	5,0	5,0	0,0	2,4	2,0	KA	m	O/L	1	21,0	11,1	11,1	0,0	1,9	4,4	2,5			
5	K1	m	W/G	1	25,0	6,0	10,0	10,0	0,0	3,1	3,0	K5	m	S/R	1	14,0	11,1	11,1	0,0	1,3	6,1	4,8			
5	K1	r	W/G	1	18,0	0,0	5,0	5,0	0,0	3,6	2,0	K5	m	S/R	1	8,0	11,1	11,1	0,0	0,7	5,6	4,9			
5	K1	r	W/G	1	21,0	0,0	5,0	5,0	0,0	4,2	2,0	K5	r	S/R	1	9,0	5,0	5,0	0,0	1,8	6,2	4,4			
5	K1	m	W/G	1	21,0	6,0	10,0	10,0	0,0	2,7	3,0	K5	m	S/L	1	9,0	11,1	11,1	0,0	0,8	5,7	4,9			
5	K1	r	W/G	1	18,0	0,0	5,0	5,0	0,0	3,6	2,0	K5	m	S/L	1	7,0	11,1	11,1	0,0	0,6	5,6	5,0	5		
5	K1	m	W/L	1	21,0	6,0	10,0	10,0	0,0	2,7	3,0	K5	r	S/L	1	9,0	5,0	5,0	0,0	1,8	5,7	3,9			
5	K1	r	W/L	1	18,0	0,0	5,0	5,0	0,0	3,6	2,0	K5	r	S/L	1	7,0	5,0	5,0	0,0	1,4	5,6	4,2			
5	K1	m	W/L	1	17,0	6,0	10,0	10,0	0,0	2,3	3,0	K5	m	S/L	1	9,0	11,1	11,1	0,0	0,8	5,3	4,5			
5	K1	r	W/L	1	17,0	0,0	5,0	5,0	0,0	3,4	2,0	K5	m	S/L	1	7,0	11,1	11,1	0,0	0,6	5,4	4,8			
5	K1	m	W/L	1	17,0	6,0	10,0	10,0	0,0	2,3	3,0	K5	r	S/L	1	9,0	5,0	5,0	0,0	1,8	5,3	3,5			
5	K1	r	W/L	1	16,0	0,0	5,0	5,0	0,0	3,2	2,0	K5	r	S/L	1	7,0	5,0	5,0	0,0	1,4	5,2	3,8			
7	K1	m	W/G	1	6,0	6,0	10,0	10,0	0,0	1,2	3,0	F1	r	W/L	1	0,0	1,5	1,5	0,0	0,0	4,2	4,2	5		
7	K1	r	W/G	1	6,0	0,0	5,0	5,0	0,0	1,2	2,0	F1	r	W/L	1	0,0	1,5	1,5	0,0	0,0	3,2	3,2			
9	K1	m	W/G	1	34,0	6,0	10,0	10,0	0,0	4,0	3,0	F3	r	O/A	1	0,0	1,5	1,5	0,0	0,0	7,0	7,0	7		
11	K1	m	W/R	1	6,0	6,0	5,0	5,0	0,0	2,4	2,0	BF1	r	W/R	1	0,0	1,5	1,5	0,0	0,0	4,4	4,4	5		
11	K1	r	W/R	1	6,0	0,0	5,0	5,0	0,0	1,2	2,0	BF1	r	W/R	1	0,0	1,5	1,5	0,0	0,0	3,2	3,2			
11	K1	m	W/G	1	6,0	6,0	10,0	10,0	0,0	1,2	3,0	BF1	r	W/L	1	0,0	1,5	1,5	0,0	0,0	4,2	4,2			
11	K1	r	W/G	1	6,0	0,0	5,0	5,0	0,0	1,2	2,0	BF1	r	W/L	1	0,0	1,5	1,5	0,0	0,0	3,2	3,2			
2	K2	m	N/G	1	23,0	6,0	10,0	10,0	0,0	2,9	3,0	K1	m	W/G	1	12,0	11,1	11,1	0,0	1,1	5,9	4,8			
2	K2	r	N/G	1	23,0	0,0	5,0	5,0	0,0	4,4	2,0	K1	m	W/G	1	11,0	11,1	11,1	0,0	1,0	6,6	5,6			
2	K2	m	N/G	1	27,0	6,0	10,0	10,0	0,0	3,3	3,0	K1	r	W/G	1	9,0	5,0	5,0	0,0	1,8	6,3	4,5			
2	K2	m	N/G	1	29,0	6,0	10,0	10,0	0,0	3,5	3,0	K1	m	W/R	1	11,0	11,1	11,1	0,0	1,0	6,5	5,5			
2	K2	r	N/G	1	29,0	0,0	5,0	5,0	0,0	3,8	2,0	K1	m	W/R	1	11,0	11,1	11,1	0,0	1,0	7,8	6,8	7		
2	K2	m	N/L	1	26,0	6,0	7,0	7,0	0,0	4,6	2,0	K1	m	W/L	1	23,0	11,1	11,1	0,0	2,1	6,6	4,5			
2	K2	r	N/L	1	24,0	0,0	5,0	5,0	0,0	4,8	2,0	K1	m	W/L	1	21,0	11,1	11,1	0,0	1,9	6,8	4,9			
13	K2	m	N/R	1	17,0	6,0	7,0	7,0	0,0	3,3	2,0	K3	m	O/G	1	18,0	11,1	11,1	0,0	1,6	5,3	3,7			
13	K2	r	N/R	1	16,0	0,0	5,0	5,0	0,0	3,2	2,0	K3	m	O/G	1	23,0	11,1	11,1	0,0	2,1	5,2	3,1			
13	K2	m	N/R	1	11,0	6,0	7,0	7,0	0,0	2,4	2,0	K3	r	O/G	1	12,0	5,0	5,0	0,0	2,4	4,4	2,0			
13	K2	r	N/R	1	11,0	0,0	5,0	5,0	0,0	2,2	2,0	K3	r	O/G	1	12,0	5,0	5,0	0,0	2,4	4,2	1,8			
13	K2	m	N/G	1	16,0	6,0	10,0	10,0	0,0	2,2	3,0	K3	m	O/G	1	16,0	11,1	11,1	0,0	1,4	5,2	3,8			
13	K2	r	N/G	1	16,0	0,0	5,0	5,0	0,0	3,2	2,0	K3	m	O/G	1	18,0	11,1	11,1	0,0	1,6	5,2	3,6			
13	K2	m	N/L	1	10,0	6,0	10,0	10,0	0,0	1,6	3,0	K3	r	O/G	1	12,0	5,0	5,0	0,0	2,4	4,6	2,2			
13	K2	r	N/L	1	10,0	0,0	5,0	5,0	0,0	2,0	2,0	K3	r	O/G	1	12,0	5,0	5,0	0,0	2,4	4,0	1,6			
13	K2	m	N/L	1	14,0	6,0	7,0	7,0	0,0	2,9	2,0	K3	m	O/G	1	10,0	11,1	11,1	0,0	0,9	4,9	4,0	4		
13	K2	r	N/L	1	14,0	0,0	5,0	5,0	0,0	2,8	2,0	K3	m	O/G	1	12,0	11,1	11,1	0,0	1,1	6,8	3,7			
13	K2	m	N/L	1	10,0	6,0	7,0	7,0	0,0	2,3	2,0	K3	r	O/G	1	10,0	5,0	5,0	0,0	2,0	4,3	2,5			
13	K2	r	N/L	1	14,0	0,0	5,0	5,0	0,0	2,8	2,0	K3	r	O/G	1	10,0	5,0	5,0	0,0	2,0	4,8	2,8			
15	K2	m	N/G	1	22,0	6,0	10,0	10,0	0,0	2,8	3,0	K4	m	O/L	1	20,0	11,1	11,1	0,0	1,8	5,8	4,0			
15	K2	r	N/G	1	22,0	0,0	5,0	5,0	0,0	4,4	2,0	K4	m	O/L	1	20,0	11,1	11,1	0,0	1,8	6,4	4,6			
15	K2	m	N/L	1	18,0	6,0	7,0	7,0	0,0	3,4	2,0	K4	m	O/L	1	8,0	11,1	11,1	0,0	0,7	5,4	4,7	5		
15	K2	r	N/L	1	18,0	0,0	5,0	5,0	0,0	3,6	2,0	K4	m	O/L	1	11,0	11,1	11,1	0,0	1,0	5,6	4,6			

17	K2	m N/G 1	17.0	6.0	10.0	10.0	0.0	2.3	3.0	K6	m W/L 1	13.0	11.1	11.1	0.0	1.2	5.3	4.1
17	K2	r N/G 1	17.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.4	2.0	K6	m W/L 1	13.0	11.1	11.1	0.0	1.2	5.4	4.2
17	K2	m N/L 1	17.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.3	2.0	K6	m W/L 1	21.0	11.1	11.1	0.0	1.9	5.3	3.4
17	K2	r N/L 1	17.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.4	2.0	K6	m W/L 1	21.0	11.1	11.1	0.0	1.9	5.4	3.5
19	K2	m N/G 1	21.0	6.0	10.0	10.0	0.0	2.7	3.0	S1	s W/G 1	12.0	5.6	13.9	1.0	1.8	5.7	3.9
19	K2	r N/G 1	21.0	0.0	5.0	5.0	0.0	4.2	2.0	S1	s W/G 1	12.0	5.6	13.9	1.0	1.8	6.2	4.4
19	K2	m N/L 1	22.0	6.0	7.0	7.0	0.0	4.0	2.0	S1	s W/G 1	21.0	5.6	13.9	1.0	3.0	6.0	3.0
19	K2	r N/L 1	22.0	0.0	5.0	5.0	0.0	4.4	2.0	S1	s W/G 1	21.0	5.6	13.9	1.0	3.0	6.4	3.4
21	K2	m N/G 1	18.0	6.0	10.0	10.0	0.0	2.4	3.0	S2	s O/G 1	17.0	5.6	13.9	1.0	2.5	5.4	2.9
21	K2	r N/G 1	18.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.6	2.0	S2	s O/G 1	20.0	5.6	13.9	1.0	2.8	5.6	2.8
21	K2	m N/L 1	17.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.3	2.0	S2	s O/G 1	8.0	5.6	13.9	1.0	1.3	5.3	4.0
21	K2	r N/L 1	17.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.4	2.0	S2	s O/G 1	11.0	5.6	13.9	1.0	1.7	5.4	3.7
23	K2	m N/G 1	5.0	6.0	10.0	10.0	0.0	1.1	3.0	F2	f H/2 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	4.1	4.1
23	K2	r N/G 1	5.0	0.0	5.0	5.0	0.0	1.0	2.0	F2	f H/2 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	3.0	3.0
23	K2	m N/L 1	5.0	6.0	7.0	7.0	0.0	1.6	2.0	F2	f H/2 1	2.0	1.5	1.5	0.0	1.3	4.0	2.7
23	K2	r N/L 1	5.0	0.0	5.0	5.0	0.0	1.0	2.0	F2	f H/2 1	2.0	1.5	1.5	0.0	1.3	3.0	1.7
	K2	m N/G 1	32.0	6.0	10.0	10.0	0.0	3.8	3.0	F4	f 1/A 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	6.8	6.8
14	K3	m O/G 1	24.0	6.0	10.0	10.0	0.0	3.0	3.0	K2	m N/R 1	12.0	11.1	11.1	0.0	1.1	6.0	4.9
14	K3	r O/G 1	18.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.6	2.0	K2	m N/R 1	8.0	11.1	11.1	0.0	0.7	5.6	4.9
14	K3	m O/G 1	25.0	6.0	10.0	10.0	0.0	3.1	3.0	K2	r N/R 1	12.0	5.0	5.0	0.0	2.4	6.1	3.7
14	K3	r O/G 1	20.0	0.0	5.0	5.0	0.0	4.0	2.0	K2	r N/R 1	8.0	5.0	5.0	0.0	1.6	6.0	4.4
14	K3	m O/G 1	21.0	6.0	10.0	10.0	0.0	2.7	3.0	K2	m N/G 1	11.0	11.1	11.1	0.0	1.0	5.7	4.7
14	K3	r O/G 1	18.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.6	2.0	K2	m N/G 1	8.0	11.1	11.1	0.0	0.7	5.6	4.9
14	K3	m O/G 1	21.0	6.0	10.0	10.0	0.0	2.7	3.0	K2	r N/G 1	11.0	5.0	5.0	0.0	2.2	5.7	3.5
14	K3	r O/G 1	18.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.6	2.0	K2	r N/G 1	8.0	5.0	5.0	0.0	1.6	5.6	4.0
14	K3	m O/G 1	18.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.6	2.0	K2	m N/L 1	11.0	11.1	11.1	0.0	1.0	5.1	4.1
14	K3	r O/G 1	15.0	6.0	10.0	10.0	0.0	2.1	3.0	K2	m N/L 1	8.0	11.1	11.1	0.0	0.7	4.6	3.9
14	K3	m O/G 1	13.0	0.0	5.0	5.0	0.0	2.6	2.0	K2	m N/L 1	11.0	5.0	5.0	0.0	2.2	5.1	2.9
14	K3	r O/G 1	15.0	6.0	10.0	10.0	0.0	2.1	3.0	K2	r N/L 1	11.0	5.0	5.0	0.0	1.6	4.6	3.0
14	K3	m O/G 1	13.0	0.0	5.0	5.0	0.0	2.6	2.0	K2	r N/L 1	8.0	5.0	5.0	0.0	1.6	4.6	3.0
27	K3	m O/R 1	16.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.1	2.0	K5	m S/G 1	26.0	11.1	11.1	0.0	2.3	5.1	2.8
27	K3	r O/R 1	10.0	0.0	5.0	5.0	0.0	2.0	2.0	K5	m S/G 1	29.0	11.1	11.1	0.0	2.6	4.0	1.4
27	K3	m O/R 1	16.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.1	2.0	K5	r S/G 1	26.0	5.0	5.0	0.0	5.2	5.1	0.0
27	K3	r O/R 1	10.0	0.0	5.0	5.0	0.0	2.0	2.0	K5	r S/G 1	29.0	5.0	5.0	0.0	5.8	4.0	0.0
27	K3	m O/G 1	16.0	6.0	10.0	10.0	0.0	2.2	3.0	K5	m S/O 1	18.0	11.1	11.1	0.0	1.6	5.2	3.6
27	K3	r O/G 1	14.0	0.0	5.0	5.0	0.0	2.8	2.0	K5	m S/O 1	24.0	11.1	11.1	0.0	2.2	4.8	2.6
27	K3	m O/G 1	14.0	6.0	10.0	10.0	0.0	2.0	3.0	K5	r S/O 1	18.0	5.0	5.0	0.0	3.6	5.0	1.4
27	K3	r O/G 1	12.0	0.0	5.0	5.0	0.0	2.4	2.0	K5	r S/O 1	24.0	5.0	5.0	0.0	4.8	4.4	0.0
27	K3	m O/G 1	30.0	6.0	10.0	10.0	0.0	3.6	3.0	K5	m S/L 1	20.0	11.1	11.1	0.0	1.8	4.6	4.8
27	K3	r O/G 1	30.0	6.0	10.0	10.0	0.0	3.6	3.0	K5	m S/L 1	20.0	5.0	5.0	0.0	4.0	6.6	2.6
27	K3	m O/G 1	30.0	0.0	5.0	5.0	0.0	6.0	2.0	K5	r S/L 1	20.0	5.0	5.0	0.0	4.0	8.0	4.0
9	K3	m O/R 1	14.0	6.0	7.0	7.0	0.0	2.9	2.0	K6	m W/L 1	34.0	11.1	11.1	0.0	3.1	4.9	1.8
9	K3	r O/R 1	12.0	0.0	5.0	5.0	0.0	2.4	2.0	K6	m W/L 1	34.0	11.1	11.1	0.0	3.1	4.4	1.3
29	K3	m O/G 1	14.0	6.0	10.0	10.0	0.0	2.0	3.0	K6	m W/L 1	23.0	11.1	11.1	0.0	2.1	5.0	2.9
29	K3	r O/G 1	12.0	0.0	5.0	5.0	0.0	2.4	2.0	K6	m W/L 1	27.0	11.1	11.1	0.0	2.4	4.4	2.0
31	K3	m O/G 1	27.0	6.0	10.0	10.0	0.0	3.3	3.0	S2	s O/G 1	26.0	5.6	13.9	1.0	3.5	6.3	2.8
33	K3	m O/G 1	34.0	6.0	10.0	10.0	0.0	4.0	3.0	F1	f 1/A 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	7.0	7.0
35	K3	m O/G 1	6.0	6.0	10.0	10.0	0.0	1.2	3.0	F3	f O/2 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	4.2	4.2
35	K3	r O/G 1	6.0	6.0	10.0	10.0	0.0	1.2	3.0	F3	f O/2 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	4.2	4.2
37	K3	m O/G 1	34.0	6.0	10.0	10.0	0.0	4.0	3.0	F3	f 1/A 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	7.0	7.0
4	K4	m O/L 1	29.0	6.0	7.0	7.0	0.0	5.0	2.0	K1	m W/R 1	14.0	11.1	11.1	0.0	1.3	7.0	5.7
4	K4	r O/L 1	27.0	6.0	7.0	7.0	0.0	4.7	2.0	K1	m W/G 1	11.0	11.1	11.1	0.0	1.0	6.7	5.7
4	K4	m O/L 1	29.0	6.0	7.0	7.0	0.0	5.0	2.0	K1	r W/G 1	9.0	5.0	5.0	0.0	1.8	7.0	5.2
4	K4	r O/L 1	31.0	0.0	5.0	5.0	0.0	6.2	2.0	K1	m W/R 1	14.0	11.1	11.1	0.0	1.3	8.2	6.9
4	K4	m O/L 1	23.0	0.0	5.0	5.0	0.0	4.6	2.0	K1	m W/G 1	14.0	11.1	11.1	0.0	1.3	6.6	5.3
16	K4	m O/L 1	25.0	6.0	7.0	7.0	0.0	4.1	2.0	K2	m N/R 1	20.0	11.1	11.1	0.0	1.8	6.1	4.3
16	K4	r O/L 1	24.0	6.0	7.0	7.0	0.0	4.3	2.0	K2	r N/R 1	17.0	5.0	5.0	0.0	3.4	6.3	2.9
16	K4	m O/L 1	15.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.0	2.0	K2	m N/L 1	14.0	11.1	11.1	0.0	1.3	5.0	3.7
16	K4	r O/L 1	15.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.0	2.0	K2	r N/L 1	14.0	5.0	5.0	0.0	2.8	5.0	2.2
16	K4	m O/L 1	25.0	0.0	5.0	5.0	0.0	4.6	2.0	K2	m N/G 1	21.0	11.1	11.1	0.0	1.9	6.6	4.7
16	K4	r O/L 1	15.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.0	2.0	K2	m N/L 1	14.0	11.1	11.1	0.0	1.3	5.0	3.7

39	K4	m O/L 1	24.0	6.0	7.0	7.0	0.0	4.3	2.0	K5	m S/L 1	6.0	11.1	11.1	0.0	0.5	6.3	5.7
39	K4	m O/L 1	24.0	6.0	7.0	7.0	0.0	4.3	2.0	K5	r S/L 1	7.0	5.0	5.0	0.0	1.4	6.3	4.9
39	K4	m O/L 1	20.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.7	2.0	K5	m S/G 1	11.0	11.1	11.1	0.0	1.0	5.7	4.7
39	K4	m O/L 1	17.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.3	2.0	K5	r S/G 1	13.0	5.0	5.0	0.0	2.6	5.3	2.7
39	K4	r O/L 1	24.0	0.0	5.0	5.0	0.0	4.8	2.0	K5	m S/L 1	10.0	11.1	11.1	0.0	0.9	6.8	5.9
39	K4	r O/L 1	18.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.6	2.0	K5	m S/G 1	12.0	11.1	11.1	0.0	1.1	5.6	4.5
41	K4	m O/L 1	18.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.4	2.0	K6	m U/L 1	17.0	11.1	11.1	0.0	1.5	5.4	3.9
41	K4	r O/L 1	18.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.6	2.0	K6	m U/L 1	17.0	11.1	11.1	0.0	1.5	5.6	4.1
43	K4	m O/L 1	23.0	6.0	7.0	7.0	0.0	4.1	2.0	S1	m W/0 1	13.0	5.6	13.9	1.0	2.0	6.1	4.2
43	K4	r O/L 1	23.0	0.0	5.0	5.0	0.0	4.6	2.0	S1	m W/G 1	13.0	5.6	13.9	1.0	2.0	6.6	4.6
45	K4	m O/L 1	6.0	6.0	7.0	7.0	0.0	1.7	2.0	F3	f O/2 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	4.0	4.0
45	K4	r O/L 1	6.0	0.0	5.0	5.0	0.0	1.2	2.0	F3	f O/2 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	3.2	3.2
47	K4	m O/L 1	33.0	6.0	7.0	7.0	0.0	5.6	2.0	F4	f S/A 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	7.6	7.6
6	K5	m S/R 1	19.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.6	2.0	K1	m W/G 1	17.0	11.1	11.1	0.0	1.5	5.6	4.0
6	K5	m S/R 1	12.0	6.0	7.0	7.0	0.0	2.6	2.0	K1	r W/G 1	14.0	5.0	5.0	0.0	2.8	4.6	1.8
6	K5	r S/R 1	10.0	0.0	5.0	5.0	0.0	2.0	2.0	K1	r W/G 1	19.0	5.0	5.0	0.0	3.8	4.0	0.2
6	K5	m S/G 1	14.0	6.0	10.0	10.0	0.0	2.0	3.0	K1	m W/0 1	16.0	11.1	11.1	0.0	1.4	5.0	3.6
6	K5	r S/G 1	14.0	0.0	5.0	5.0	0.0	2.8	2.0	K1	m W/G 1	18.0	11.1	11.1	0.0	1.6	4.8	3.2
6	K5	m S/G 1	9.0	6.0	10.0	10.0	0.0	1.5	3.0	K1	r W/G 1	14.0	5.0	5.0	0.0	2.8	4.5	1.7
6	K5	r S/G 1	9.0	0.0	5.0	5.0	0.0	1.8	2.0	K1	r W/G 1	16.0	5.0	5.0	0.0	3.2	3.8	0.6
6	K5	m S/L 1	13.0	6.0	7.0	7.0	0.0	2.7	2.0	K1	m W/0 1	11.0	11.1	11.1	0.0	1.0	4.7	3.7
6	K5	r S/L 1	13.0	0.0	5.0	5.0	0.0	2.6	2.0	K1	m W/G 1	13.0	11.1	11.1	0.0	1.2	4.6	3.4
6	K5	m S/L 1	9.0	6.0	7.0	7.0	0.0	2.1	2.0	K1	r W/0 1	11.0	5.0	5.0	0.0	2.2	4.1	1.9
6	K5	r S/L 1	9.0	0.0	5.0	5.0	0.0	1.8	2.0	K1	r W/G 1	14.0	5.0	5.0	0.0	2.8	3.8	1.0
28	K5	m S/G 1	30.0	6.0	10.0	10.0	0.0	3.6	3.0	K3	m O/R 1	13.0	11.1	11.1	0.0	1.2	6.6	5.4
28	K5	r S/G 1	30.0	0.0	5.0	5.0	0.0	6.0	2.0	K3	m O/R 1	13.0	11.1	11.1	0.0	1.2	8.0	6.8
28	K5	m S/R 1	24.0	6.0	10.0	10.0	0.0	3.0	3.0	K3	m O/G 1	11.0	11.1	11.1	0.0	1.0	6.0	5.0
28	K5	r S/R 1	24.0	0.0	5.0	5.0	0.0	4.8	2.0	K3	m O/G 1	11.0	11.1	11.1	0.0	1.0	6.8	5.8
28	K5	m S/R 1	27.0	6.0	10.0	10.0	0.0	3.3	3.0	K3	r O/G 1	9.0	5.0	5.0	0.0	1.8	6.3	4.5
28	K5	r S/R 1	27.0	0.0	5.0	5.0	0.0	5.4	2.0	K3	r O/G 1	9.0	5.0	5.0	0.0	1.8	7.4	5.6
28	K5	m S/L 1	25.0	6.0	7.0	7.0	0.0	4.4	2.0	K3	m O/G 1	23.0	11.1	11.1	0.0	2.1	6.4	4.4
28	K5	r S/L 1	25.0	0.0	5.0	5.0	0.0	5.0	2.0	K3	m O/G 1	23.0	11.1	11.1	0.0	2.1	7.0	4.9
40	K5	m S/L 1	15.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.0	2.0	K4	m O/L 1	20.0	11.1	11.1	0.0	1.8	5.0	3.2
40	K5	r S/L 1	15.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.0	2.0	K4	m O/L 1	20.0	11.1	11.1	0.0	1.8	5.0	3.2
40	K5	m S/G 1	16.0	6.0	10.0	10.0	0.0	2.2	3.0	K4	m O/L 1	15.0	11.1	11.1	0.0	1.4	5.2	3.8
40	K5	r S/G 1	16.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.2	2.0	K4	m O/L 1	15.0	11.1	11.1	0.0	1.4	5.2	3.8
49	K5	m S/G 1	22.0	6.0	10.0	10.0	0.0	2.8	3.0	K6	m U/L 1	24.0	11.1	11.1	0.0	2.2	5.8	3.6
49	K5	r S/G 1	22.0	0.0	5.0	5.0	0.0	4.4	2.0	K6	m U/L 1	24.0	11.1	11.1	0.0	2.2	6.4	4.2
49	K5	m S/L 1	17.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.3	2.0	K6	m U/L 1	11.0	11.1	11.1	0.0	1.0	5.3	4.3
49	K5	r S/L 1	17.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.4	2.0	K6	m U/L 1	11.0	11.1	11.1	0.0	1.0	5.4	4.4
51	K5	m S/G 1	17.0	6.0	10.0	10.0	0.0	2.3	3.0	S1	m W/0 1	18.0	5.6	13.9	1.0	2.6	5.3	2.7
51	K5	r S/G 1	17.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.4	2.0	S1	m W/G 1	20.0	5.6	13.9	1.0	2.8	5.4	2.6
51	K5	m S/L 1	18.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.4	2.0	S1	m W/0 1	8.0	5.6	13.9	1.0	1.3	5.4	4.1
51	K5	r S/L 1	18.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.6	2.0	S1	m W/G 1	13.0	5.6	13.9	1.0	2.0	5.6	3.6
53	K5	m S/G 1	19.0	6.0	10.0	10.0	0.0	2.5	3.0	S2	m O/G 1	12.0	5.6	13.9	1.0	1.8	5.5	3.7
53	K5	r S/G 1	19.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.8	2.0	S2	m O/G 1	12.0	5.6	13.9	1.0	1.8	5.8	4.0
53	K5	m S/L 1	22.0	6.0	7.0	7.0	0.0	4.0	2.0	S2	m O/G 1	21.0	5.6	13.9	1.0	3.0	6.0	3.0
53	K5	r S/L 1	21.0	0.0	5.0	5.0	0.0	4.2	2.0	S2	m O/G 1	21.0	5.6	13.9	1.0	3.0	6.2	3.2
55	K5	m S/G 1	33.0	6.0	10.0	10.0	0.0	3.9	3.0	F2	f H/A 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	6.9	6.9
57	K5	m S/G 1	7.0	6.0	10.0	10.0	0.0	1.3	3.0	F4	f S/2 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	4.3	4.3
57	K5	r S/G 1	7.0	0.0	5.0	5.0	0.0	1.4	2.0	F4	f S/2 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	3.4	3.4
57	K5	m S/L 1	7.0	6.0	7.0	7.0	0.0	1.9	2.0	F4	f S/2 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	4.0	4.0
57	K5	r S/L 1	7.0	0.0	5.0	5.0	0.0	1.4	2.0	F4	f S/2 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	3.4	3.4
18	K6	m U/L 1	17.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.3	2.0	K2	m H/0 1	16.0	11.1	11.1	0.0	1.4	5.3	3.8
18	K6	m U/L 1	17.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.3	2.0	K2	r H/0 1	16.0	5.0	5.0	0.0	3.2	5.3	2.1
18	K6	m U/L 1	24.0	6.0	7.0	7.0	0.0	4.3	2.0	K2	m H/L 1	11.0	11.1	11.1	0.0	1.0	6.3	5.3
18	K6	m U/L 1	24.0	0.0	5.0	5.0	0.0	4.3	2.0	K2	r H/L 1	11.0	5.0	5.0	0.0	2.2	6.3	4.1
18	K6	r U/L 1	17.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.4	2.0	K2	m H/0 1	16.0	11.1	11.1	0.0	1.4	5.4	4.0
18	K6	r U/L 1	24.0	0.0	5.0	5.0	0.0	4.8	2.0	K2	m H/L 1	13.0	11.1	11.1	0.0	1.2	6.8	5.6

30	K6	m W/L 1	33.0	6.0	7.0	7.0	0.0	5.6	2.0	K3	m O/R 1	12.0	11.1	11.1	0.0	1.1	7.6	6.3
30	K6	m W/L 1	33.0	6.0	7.0	7.0	0.0	5.6	2.0	K3	r O/R 1	9.0	5.0	5.0	0.0	1.8	7.6	5.8
30	K6	m W/L 1	28.0	6.0	7.0	7.0	0.0	4.9	2.0	K3	m O/G 1	12.0	11.1	11.1	0.0	1.1	6.9	5.8
30	K6	m W/L 1	31.0	6.0	7.0	7.0	0.0	5.3	2.0	K3	r O/G 1	8.0	5.0	5.0	0.0	1.6	7.3	5.7
30	K6	r W/L 1	30.0	0.0	5.0	5.0	0.0	6.0	2.0	K3	m O/R 1	12.0	11.1	11.1	0.0	1.1	8.0	6.9
30	K6	r W/L 1	28.0	0.0	5.0	5.0	0.0	5.6	2.0	K3	m O/G 1	12.0	11.1	11.1	0.0	1.1	7.6	6.3
30	K6	r W/L 1	31.0	0.0	5.0	5.0	0.0	6.2	2.0	K3	r O/G 1	8.0	5.0	5.0	0.0	1.6	8.2	6.6
42	K6	m W/L 1	18.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.4	2.0	K4	m O/L 1	17.0	11.1	11.1	0.0	1.5	5.4	3.9
42	K6	r W/L 1	18.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.6	2.0	K4	m O/L 1	17.0	11.1	11.1	0.0	1.5	5.6	4.1
50	K6	m W/L 1	25.0	6.0	7.0	7.0	0.0	4.4	2.0	K5	m S/G 1	15.0	11.1	11.1	0.0	1.4	6.4	5.1
50	K6	m W/L 1	25.0	6.0	7.0	7.0	0.0	4.4	2.0	K5	r S/G 1	15.0	5.0	5.0	0.0	3.0	6.4	3.4
50	K6	m W/L 1	15.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.0	2.0	K5	m S/L 1	13.0	11.1	11.1	0.0	1.2	5.0	3.8
50	K6	m W/L 1	15.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.0	2.0	K5	r S/L 1	15.0	5.0	5.0	0.0	3.0	5.0	2.0
50	K6	r W/L 1	25.0	0.0	5.0	5.0	0.0	5.0	2.0	K5	m S/G 1	15.0	11.1	11.1	0.0	1.4	7.0	5.6
50	K6	r W/L 1	15.0	0.0	5.0	5.0	0.0	3.0	2.0	K5	m S/L 1	13.0	11.1	11.1	0.0	1.2	5.0	3.8
59	K6	m W/L 1	21.0	6.0	7.0	7.0	0.0	3.9	2.0	S2	s O/G 1	16.0	5.6	13.9	1.0	2.4	5.9	3.5
59	K6	r W/L 1	21.0	0.0	5.0	5.0	0.0	4.2	2.0	S2	s O/G 1	16.0	5.6	13.9	1.0	2.4	6.2	3.8
61	K6	m W/L 1	6.0	6.0	7.0	7.0	0.0	1.7	2.0	F1	f W/2 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	3.7	3.7
61	K6	r W/L 1	6.0	0.0	5.0	5.0	0.0	1.2	2.0	F1	f W/2 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	3.2	3.2
63	K6	m W/L 1	36.0	6.0	7.0	7.0	0.0	6.0	2.0	F2	f N/A 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	8.0	8.0
63	K6	r W/L 1	36.0	6.0	7.0	7.0	0.0	6.0	2.0	F2	f N/A 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	8.0	8.0
65	K6	m W/L 1	6.0	6.0	7.0	7.0	0.0	1.7	2.0	BF1	f W/2 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	3.7	3.7
65	K6	r W/L 1	6.0	6.0	7.0	7.0	0.0	1.7	2.0	BF1	f W/2 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	3.7	3.7
20	S1	s W/G 1	16.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.2	5.0	K2	m N/G 1	19.0	11.1	11.1	0.0	1.7	7.2	5.5
20	S1	s W/G 1	16.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.2	5.0	K2	r N/G 1	19.0	5.0	5.0	0.0	3.8	7.2	3.4
20	S1	s W/G 1	26.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.9	5.0	K2	m N/L 1	18.0	11.1	11.1	0.0	1.6	7.9	6.3
20	S1	s W/G 1	26.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.9	5.0	K2	r N/L 1	18.0	5.0	5.0	0.0	3.6	7.9	4.3
44	S1	s W/G 1	18.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.4	5.0	K4	m O/L 1	16.0	11.1	11.1	0.0	1.4	7.4	5.9
52	S1	s W/G 1	20.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.5	5.0	K5	m S/G 1	14.0	11.1	11.1	0.0	1.3	7.5	6.3
52	S1	s W/G 1	20.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.5	5.0	K5	r S/G 1	14.0	5.0	5.0	0.0	2.8	7.5	4.7
52	S1	s W/G 1	13.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.0	5.0	K5	m S/L 1	13.0	11.1	11.1	0.0	1.2	7.0	5.8
52	S1	s W/G 1	13.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.0	5.0	K5	r S/L 1	13.0	5.0	5.0	0.0	2.6	7.0	4.4
67	S1	s W/G 1	6.0	15.0	13.9	13.9	1.0	1.5	5.0	F1	f W/S 1	4.0	1.5	1.5	0.0	2.7	6.5	3.8
69	S1	s W/G 1	34.0	15.0	13.9	13.9	1.0	3.5	5.0	F3	f O/S 1	4.0	1.5	1.5	0.0	2.7	8.5	5.9
71	S1	s W/G 1	6.0	15.0	13.9	13.9	1.0	1.5	5.0	BF1	f W/S 1	4.0	1.5	1.5	0.0	2.7	6.5	3.8
22	S2	s O/G 1	20.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.5	5.0	K2	m N/G 1	15.0	11.1	11.1	0.0	1.4	7.5	6.2
22	S2	s O/G 1	20.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.5	5.0	K2	r N/G 1	15.0	5.0	5.0	0.0	3.0	7.5	4.5
22	S2	s O/G 1	18.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.4	5.0	K2	m N/L 1	14.0	11.1	11.1	0.0	1.3	7.4	6.1
22	S2	s O/G 1	18.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.4	5.0	K2	r N/L 1	14.0	5.0	5.0	0.0	2.8	7.4	4.6
32	S2	s O/G 1	26.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.9	5.0	K3	m O/G 1	18.0	11.1	11.1	0.0	1.6	7.9	6.3
54	S2	s O/G 1	17.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.5	5.0	K5	m S/G 1	16.0	11.1	11.1	0.0	1.4	7.3	5.9
54	S2	s O/G 1	15.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.2	5.0	K5	r S/G 1	16.0	5.0	5.0	0.0	3.2	7.2	4.0
54	S2	s O/G 1	26.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.9	5.0	K5	m S/L 1	19.0	11.1	11.1	0.0	1.7	7.9	6.2
54	S2	s O/G 1	25.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.9	5.0	K5	r S/L 1	19.0	5.0	5.0	0.0	3.8	7.9	4.1
60	S2	s O/G 1	18.0	15.0	13.9	13.9	1.0	2.4	5.0	K6	m W/L 1	19.0	11.1	11.1	0.0	1.7	7.4	5.7
73	S2	s O/G 1	34.0	15.0	13.9	13.9	1.0	3.5	5.0	F1	f W/S 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	8.5	8.5
75	S2	s O/G 1	6.0	15.0	13.9	13.9	1.0	1.5	5.0	F3	f O/S 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	6.5	6.5
77	S2	s O/G 1	34.0	15.0	13.9	13.9	1.0	3.5	5.0	BF1	f W/S 1	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	8.5	8.5
8	F1	f W/2 1	16.0	0.0	1.2	1.2	0.0	13.3	0.0	K1	m W/G 1	0.0	11.1	11.1	0.0	0.0	13.3	13.3
8	F1	f W/2 1	18.0	0.0	1.3	1.3	0.0	13.8	0.0	K1	r W/G 1	0.0	5.0	5.0	0.0	0.0	13.8	13.8
34	F1	f W/A 1	16.0	0.0	1.2	1.2	0.0	13.3	0.0	K3	m O/G 1	30.0	11.1	11.1	0.0	2.7	13.3	10.6
34	F1	f W/A 1	18.0	0.0	1.3	1.3	0.0	13.8	0.0	K3	r O/G 1	30.0	5.0	5.0	0.0	6.0	13.8	7.8

62	F1	f M/2 1	13.0	0.0	1.2	1.2	0.0	10.8	0.0	K6	m M/L 1	0.0	11.1	11.1	0.0	0.0	10.8	10.8	11
68	F1	f M/5 1	13.0	0.0	1.2	1.2	0.0	10.8	0.0	S1	s M/G 1	0.0	5.6	13.9	1.0	0.0	10.8	10.8	11
74	F1	f M/5 1	13.0	0.0	1.2	1.2	0.0	10.8	0.0	S2	s O/G 1	30.0	5.6	13.9	1.0	4.0	10.8	6.9	7
24	F2	f M/2 1	10.0	0.0	1.2	1.2	0.0	8.3	0.0	K2	m M/G 1	0.0	11.1	11.1	0.0	0.0	8.3	8.3	9
24	F2	f M/2 1	10.0	0.0	1.3	1.3	0.0	7.7	0.0	K2	r M/G 1	0.0	5.0	5.0	0.0	0.0	7.7	7.7	
24	F2	f M/2 1	7.0	0.0	1.2	1.2	0.0	5.8	0.0	K2	m M/L 1	0.0	11.1	11.1	0.0	0.0	5.8	5.8	
24	F2	f M/2 1	7.0	0.0	1.3	1.3	0.0	5.4	0.0	K2	r M/L 1	0.0	5.0	5.0	0.0	0.0	5.4	5.4	
56	F2	f M/A 1	10.0	0.0	1.2	1.2	0.0	8.3	0.0	K5	m S/G 1	29.0	11.1	11.1	0.0	2.6	8.3	5.7	6
56	F2	f M/A 1	10.0	0.0	1.3	1.3	0.0	7.7	0.0	K5	r S/G 1	29.0	5.0	5.0	0.0	5.8	7.7	1.9	
64	F2	f M/A 1	10.0	0.0	1.2	1.2	0.0	8.3	0.0	K6	m W/L 1	31.0	11.1	11.1	0.0	2.8	8.3	5.5	6
10	F3	f O/A 1	17.0	0.0	1.2	1.2	0.0	14.2	0.0	K1	m M/G 1	29.0	11.1	11.1	0.0	2.6	14.2	11.6	12
10	F3	f O/A 1	19.5	0.0	1.3	1.3	0.0	15.0	0.0	K1	r M/G 1	29.0	5.0	5.0	0.0	0.0	15.0	9.2	
36	F3	f O/2 1	18.0	0.0	1.2	1.2	0.0	15.0	0.0	K3	m O/G 1	0.0	11.1	11.1	0.0	0.0	15.0	15.0	
36	F3	f O/2 1	19.5	0.0	1.3	1.3	0.0	15.0	0.0	K3	r O/G 1	0.0	5.0	5.0	0.0	0.0	15.0	15.0	15
46	F3	f O/2 1	12.0	0.0	1.2	1.2	0.0	10.0	0.0	K4	m O/L 1	0.0	11.1	11.1	0.0	0.0	10.0	10.0	10
70	F3	f O/5 1	13.0	0.0	1.2	1.2	0.0	10.8	0.0	S1	s M/G 1	29.0	5.6	13.9	1.0	3.9	10.8	7.0	7
76	F3	f O/5 1	12.0	0.0	1.2	1.2	0.0	10.0	0.0	S2	s O/G 1	0.0	5.6	13.9	1.0	0.0	10.0	10.0	10
26	F4	f S/A 1	11.0	0.0	1.2	1.2	0.0	9.2	0.0	K2	m M/G 1	27.0	11.1	11.1	0.0	2.4	9.2	6.7	7
26	F4	f S/A 1	11.0	0.0	1.3	1.3	0.0	8.5	0.0	K2	r M/G 1	27.0	5.0	5.0	0.0	5.4	8.5	3.1	
48	F4	f S/A 1	11.0	0.0	1.2	1.2	0.0	9.2	0.0	K4	m O/L 1	25.0	11.1	11.1	0.0	2.3	9.2	6.9	7
58	F4	f S/2 1	11.0	0.0	1.2	1.2	0.0	9.2	0.0	K5	m S/G 1	0.0	11.1	11.1	0.0	0.0	9.2	9.2	10
58	F4	f S/2 1	11.0	0.0	1.3	1.3	0.0	8.5	0.0	K5	r S/G 1	0.0	5.0	5.0	0.0	0.0	8.5	8.5	
58	F4	f S/2 1	9.0	0.0	1.2	1.2	0.0	7.5	0.0	K5	m S/L 1	0.0	11.1	11.1	0.0	0.0	7.5	7.5	
58	F4	f S/2 1	9.0	0.0	1.3	1.3	0.0	6.9	0.0	K5	r S/L 1	0.0	5.0	5.0	0.0	0.0	6.9	6.9	
12	BF1	f M/2 1	16.0	0.0	1.0	1.0	0.0	16.0	0.0	K1	m M/G 1	0.0	11.1	11.1	0.0	0.0	16.0	16.0	
12	BF1	f M/2 1	18.0	0.0	1.0	1.0	0.0	18.0	0.0	K1	r M/G 1	0.0	5.0	5.0	0.0	0.0	18.0	18.0	16
38	BF1	f M/A 1	16.0	0.0	1.0	1.0	0.0	16.0	0.0	K3	m O/G 1	30.0	11.1	11.1	0.0	2.7	16.0	13.3	14
38	BF1	f M/A 1	18.0	0.0	1.0	1.0	0.0	18.0	0.0	K3	r O/G 1	30.0	5.0	5.0	0.0	6.0	18.0	12.0	
66	BF1	f M/2 1	13.0	0.0	1.0	1.0	0.0	13.0	0.0	K6	m W/L 1	0.0	11.1	11.1	0.0	0.0	13.0	13.0	13
72	BF1	f M/5 1	13.0	0.0	1.0	1.0	0.0	13.0	0.0	S1	s M/G 1	0.0	5.6	13.9	1.0	0.0	13.0	13.0	13
78	BF1	f M/5 1	13.0	0.0	1.0	1.0	0.0	13.0	0.0	S2	s O/G 1	30.0	5.6	13.9	1.0	4.0	13.0	9.0	9

Legende:

Konf:	Konfliktpunktnummer; ein Konfliktpunkt besteht i.d. aus mehreren Konfliktfällen
SigGr:	Signalgruppennamen
Typ:	Fahrzeugart: m (motorisierter Individualverkehr, Kfz) s (Straßenbahn) b (Bus) f (Fußgänger) r (Radfahrer)
Str:	Richtungsangabe des Verkehrsstromes z.B. M/G (Westen Geradeaus), S/2 (Süden zufließender Verkehr), U (ungerichtet, ohne Richtungsangabe)
FS:	Fahrbahnennummer zur Unterscheidung mehrerer Fahrbahnen eines Stromes
Weg:	Kfz- bzw. Einbahnweg in [m]
Lfz:	Fahrzeuglänge (standardmäßig 6m für Kfz, 15 m für Straßenbahn, 0 m für nichtmotorisierte Straßen)
V0:	Kfz- bzw. Einbahngeschwindigkeit in [m/s] an der Haltelinie
V:	maximale Kfz- bzw. Einbahngeschwindigkeit in [m/s]
B:	Beschleunigung in [m/s²] von der Haltelinie (Geschwindigkeit v0) bis zum Konfliktpunkt (Geschwindigkeit v)
Tr, Te:	Kfz- bzw. Einbahnzeit in [s]
T0:	Überfahrzeit in [s]
Tz(R):	Konfliktfallspezifische Zwischenzeit in [s] (als reelle Zahl)
Tz:	Resultierende Zwischenzeit für den gesamten Konfliktpunkt in [s]
TzH:	Mindestzwischenzeit
*	Berechneter Wert aufgrund von Mindestzeitbedingungen geändert

Anhang F

